

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP  
EXEMPLAR REVISADO  
Data de entrada no Serviço: 30/05/00  
Ass.: *[assinatura]*

# CARACTERIZAÇÃO DOS LÍQUIDOS PERCOLADOS GERADOS POR DISPOSIÇÃO DE LIXO URBANO EM DIFERENTES SISTEMAS DE ATERRAMENTO

**Cristina Filomena Pereira Rosa Paschoalato**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Hidráulica e Saneamento

DEDALUS - Acervo - EESC



31100037095

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Blundi

São Carlos  
2000



Class.	7551-EE5C ✓
Curr.	4123
	e. 2
Tombo	70239/02
Sysno	1083030

Handwritten mark on the right margin.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

P281c

Paschoalato, Cristina Filomena Pereira Rosa  
Caracterização dos líquidos percolados gerados por  
disposição de lixo urbano em diferentes sistemas de  
aterramento / Cristina Filomena Pereira Rosa  
Paschoalato. -- São Carlos, 2000.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de  
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.  
Área: Hidráulica e Saneamento.  
Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Blundi.

1. Líquidos percolados. 2. Aterro sanitário.  
3. Análises físico-químicas. I. Título.

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Candidata: Engenheira **CRISTINA FILOMENA PEREIRA ROSA PASCHOALATO**

Dissertação defendida e aprovada em 07-04-2000  
pela Comissão Julgadora:



---

Prof. Doutor **CARLOS EDUARDO BLUNDI (Orientador)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



---

Prof. Doutor **DURVAL RODRIGUES DE PAULA JUNIOR**  
(Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP)



---

Prof. Livre-Docente **ELIAS BASILE TAMBOURGI**  
(Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP)



---

Prof. Associado **EDUARDO CLETO PIRES**  
Coordenador do Programa de Hidráulica e Saneamento



---

**JOSÉ CARLOS A. CINTRA**  
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

*Ao meu marido, Celso  
pelo amor, compreensão e apoio.*

*Aos meus filhos, Luma e Alexandre  
por entenderem minha ausência.*

*Em memória de meus pais, Arnaldo e Terezinha,  
pelo ensinamento da perseverança.*

*Dedico*

*“Não se pode ensinar tudo a alguém,  
pode-se apenas ajuda-lo a encontrar  
por si mesmo.”  
Galileu Galilei*

Ao meu orientador prof. Dr. Carlos Eduardo Blundi, por tudo...

Ao amigo Prof. Jacob Fernando Ferreira, pela preciosa contribuição...

Ao amigo Prof. João Alvares da Costa, pelo incentivo constante...

À Prof. Vera Lúcia Soares Garrido , pela indicação...

Ao Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC-USP pela oportunidade de estudo...

À Dr. Francisco Ovídio da UNAERP pela ajuda junto ao PACDT...

À CAPES pela bolsa concedida...

Aos alunos do Laboratório de Recursos Hídricos da UNAERP, Gustavo Zambonini da Silva, Elaine Bocalon, Luciana Amantea, Marcelo Grandó, Alessandra Carloni e Fernando Spadon pelo excelente trabalho analítico...

Ao amigo Danilo Baratto, pela colaboração...

Ao Eng. Mauro Pereira Júnior ( SMA), pela preciosa ajuda...

Ao Geólogo Maurício Pereira ( SMA), pela colaboração...

À Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Ribeirão Preto (SMA), pela colaboração...

Ao Dr. Justo Camejo Ferreira ( CENPES) pelos ensinamentos....

Ao Amigos do Laboratório de Saneamento EESC / USP , Paulo , Júlio e Cidinha, pela colaboração sempre imediata...

A todos os professores e funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC / USP pela colaboração...

À minha irmã Kátia, pela substituição com as crianças...

**Agradeço.**

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	vi
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVO.....	4
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	5
3.1 Lixão.....	5
3.2 Aterro controlado.....	6
3.3 Aterro sanitário.....	6
3.4 Líquidos percolados.....	8
3.4.1 Ocorrência dos líquidos percolados.....	8
3.4.2 Caracterização dos líquidos percolados.....	9
3.5 Modelo geológico dos aterros em estudo.....	10
3.5.1 Geologia do lixão de Serrana.....	12
3.5.2 Geologia do aterro de Dumont.....	14
3.6 Cronologia e operação dos aterros.....	15
3.6.1 Lixão de Serrana.....	15
3.6.2 Aterro de Dumont.....	20
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4.1 Amostragem.....	22
4.2 Preservação das amostras.....	26
4.3 Parâmetros analisados.....	26
4.3.1 Alcalinidade de bicarbonato.....	27
4.3.2 Alumínio.....	27
4.3.3 Boro.....	28

4.3.4 Carbono orgânico total.....	28
4.3.5 Cálcio e Magnésio.....	28
4.3.6 Chumbo, cobalto, cobre, cromo, ferro, manganês, níquel e zinco.....	29
4.3.7 Cianeto.....	29
4.3.8 Cloretos.....	30
4.3.9 Condutividade.....	30
4.3.10 Cor aparente.....	30
4.3.11 Cromo hexavalente.....	31
4.3.12 Demanda bioquímica de oxigênio.....	30
4.3.13 Densidade.....	31
4.3.14 Demanda química de oxigênio.....	32
4.3.15 Dureza total.....	32
4.3.16 Fenóis.....	32
4.3.17 Fluoretos.....	33
4.3.18 Fósforo total.....	33
4.3.19 Nitrogênio albuminóide e Nitrogênio amoniacal.....	33
4.3.20 Nitrogênio total de Kjeldahl.....	34
4.3.21 Nitrato.....	34
4.3.22 Nitrito.....	34
4.3.23 Nitrogênio total.....	34
4.3.24 Oxigênio consumido.....	35
4.3.25 pH.....	35
4.3.26 Potássio e sódio.....	35
4.3.27 Sólidos totais, fixos e voláteis.....	35
4.3.28 Sólidos sedimentáveis.....	36
4.3.29 Substâncias solúveis em hexano.....	36
4.3.30 Sulfato.....	36
4.3.31 Sulfito.....	36
4.3.32 Surfactantes.....	37
4.3.33 Turbidez.....	37

5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	38
5.1 Resultados potenciométricos .....	39
5.2 Resultados de exames físicos.....	39
5.3 Resultados de constituintes inorgânicos não metálicos.....	40
5.4 Resultados de constituintes orgânicos.....	41
5.5 Resultados de metais.....	41
6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	42
6.1 Alcalinidade de bicarbonato.....	45
6.2 Alumínio.....	46
6.3 Boro.....	47
6.4 Carbono orgânico total.....	48
6.5 Cálcio.....	49
6.6 Chumbo.....	50
6.7 Cianeto.....	51
6.8 Cloretos.....	52
6.9 Cobalto.....	53
6.10 Cobre.....	54
6.11 Condutividade.....	55
6.12 Cor aparente.....	56
6.13 Cromo total.....	57
6.14 Cromo hexavalente.....	58
6.15 Demanda bioquímica de oxigênio.....	59
6.16 Densidade.....	60
6.17 Demanda química de oxigênio.....	61
6.18 Dureza total.....	62
6.19 Fenóis.....	63
6.20 Ferro.....	64
6.21 Fluoretos.....	65
6.22 Fósforo total.....	66
6.23 Magnésio.....	67
6.24 Manganês.....	68
6.25 Níquel.....	69

6.26 Nitrogênio albuminóide.....	70
6.27 Nitrogênio amoniacal.....	71
6.28 Nitrogênio total de Kjeldahl.....	72
6.29 Nitrato.....	73
6.30 Nitrito.....	74
6.31 Nitrogênio total.....	75
6.32 Oxigênio consumido.....	76
6.33 pH.....	77
6.34 Potássio.....	78
6.35 Sódio.....	79
6.36 Sólidos totais.....	80
6.37 Sólidos totais fixos.....	81
6.38 Sólidos totais voláteis.....	82
6.39 Sólidos sedimentáveis.....	83
6.40 Substâncias solúveis em hexano.....	84
6.41 Sulfato.....	85
6.42 Sulfito.....	86
6.43 Surfactantes.....	87
6.44 Turbidez.....	88
6.45 Zinco.....	89
7 CONCLUSÕES .....	90
8 RECOMENDAÇÕES.....	93
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Gráfico representativo da disposição final do lixo no Brasil.....	7
FIGURA 2 - Mapa de zoneamento ambiental.....	11
FIGURA 3 - Mapa geológico simplificado do lixão de Serrana.....	14
FIGURA 4 - Mapa de localização da área do lixão de Serrana.....	16
FIGURA 5 - Poços existentes na área do lixão de Serrana.....	19
FIGURA 6 - Leiante do aterro de Dumont.....	20
FIGURA 7 - Fotografia do aterro de Dumont.....	21
FIGURA 8 - Poços tubular completado no lixo do lixão de Serrana.....	23
FIGURA 9 - Equipamento utilizado para coleta nos poços do lixão de Serrana..	24
FIGURA 10 - Caixa de acumulo de chorume do aterro de Dumont.....	25
FIGURA 11 - O chorume drenado para a caixa de acumulo.....	25
FIGURA 12 - Representação do processo de diluição dos líquidos percolados no lixão de Serrana.....	46

FIGURA 13 - Resultados obtidos de alcalinidade de bicarbonato .....	47
FIGURA 14 - Resultados obtidos de alumínio.....	48
FIGURA 15 - Resultados obtidos de boro .....	49
FIGURA 16 – Resultados obtidos de carbono orgânico total .....	50
FIGURA 17 - Resultados obtidos de cálcio .....	51
FIGURA 18 - Resultados obtidos de chumbo .....	52
FIGURA 19 - Resultados obtidos de cianeto .....	53
FIGURA 20 - Resultados obtidos de cloretos .....	54
FIGURA 21 - Resultados obtidos de cobalto .....	55
FIGURA 22 - Resultados obtidos de cobre .....	56
FIGURA 23 - Resultados obtidos de condutividade .....	57
FIGURA 24 - Resultados obtidos de cor aparente .....	58
FIGURA 25 - Resultados obtidos de cromo total .....	59
FIGURA 26 - Resultados obtidos de cromo hexavalente .....	60
FIGURA 27 - Resultados obtidos de DBO 20° 5 dias .....	61

FIGURA 28 - Resultados obtidos de densidade 20°C .....	62
FIGURA 29 - Resultados obtidos de DQO .....	63
FIGURA 30 - Resultados obtidos de dureza total .....	64
FIGURA 31 - Resultados obtidos de fenóis .....	65
FIGURA 32 - Resultados obtidos de ferro .....	66
FIGURA 33 - Resultados obtidos de fluoreto .....	67
FIGURA 34 - Resultados obtidos de fósforo total .....	68
FIGURA 35 - Resultados obtidos de magnésio .....	69
FIGURA 36 - Resultados obtidos de manganês .....	70
FIGURA 37 - Resultados obtidos de níquel .....	71
FIGURA 38 - Resultados obtidos de nitrogênio albuminóide .....	72
FIGURA 39 - Resultados obtidos de nitrogênio amôniaal .....	73
FIGURA 40 - Resultados obtidos de nitrogênio total kjeldahl .....	74
FIGURA 41 - Resultados obtidos de nitrato .....	75
FIGURA 42 - Resultados obtidos de nitrito .....	76

FIGURA 43 - Resultados obtidos de nitrogênio total .....	77
FIGURA 44 - Resultados obtidos de oxigênio consumido .....	78
FIGURA 45 - Resultados obtidos de pH .....	79
FIGURA 46 - Resultados obtidos de potássio.....	80
FIGURA 47 - Resultados obtidos de sódio .....	81
FIGURA 48 - Resultados obtidos de sólidos totais .....	82
FIGURA 49 - Resultados obtidos de sólidos totais fixos .....	83
FIGURA 50 - Resultados obtidos de sólidos totais voláteis .....	84
FIGURA 51 - Resultados obtidos de sólidos sedimentáveis .....	85
FIGURA 52 - Resultados obtidos de substâncias solúveis em hexano .....	86
FIGURA 53 - Resultados obtidos de sulfato .....	87
FIGURA 54 - Resultados obtidos de sulfito .....	88
FIGURA 55 - Resultados obtidos de surfactantes .....	89
FIGURA 56 - Resultados obtidos de turbidez .....	90
FIGURA 57 - Resultados obtidos de zinco .....	91

## LISTA DE TABELAS

TABELA 5.1 Resultados potenciométricos.....	39
TABELA 5.2 Resultados dos exames físicos.....	39
TABELA 5.3 Resultados dos constituintes inorgânicos não metálicos.....	40
TABELA 5.4 Resultados dos constituintes orgânicos.....	41
TABELA 5.5 Resultados dos metais.....	41

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ce	Cenozoico
CEGEQ	Centro de Estudos Geoquímico
CENPES	Centro de Pesquisas
CETESB	Companhia Estadual de Tecnologia em Saneamento Básico
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DER	Departamento de Estrada de Rodagem
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EDTA	Ácido Etileno Diamino Tetra Acético
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
JKb	Jurassico Botucatu
JKsg	Jurassico Serra Geral
N	Norte
NBR	Normas Brasileiras
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
P	Poço amostrado
Petrobras	Petróleo Brasileira
pH	Potencial Hidrogênionico
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RS	Estado do Rio Grande do Sul

SMMA	Secretaria Municipal de Meio Ambiente
SP	São Paulo
TRJp	Formação Pirambóia
TOC	Carbono Orgânico Total
UNAERP	Universidade da Associação de Ensino de Ribeirão Preto
UV	Ultra Violeta
ZPM	Zona de Proteção Máxima
ZUD	Zona de Uso Disciplinado
ZUE	Zona de Uso Especial

## RESUMO

PASCHOALATO, C.F.P.R. (2000). *Caracterização dos líquidos percolados gerados por disposição de lixo urbano em diferentes sistemas de aterramento*. São Carlos, 2000. 97p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O trabalho tem como finalidade a realização de um estudo a respeito da análise de parâmetros analíticos, determinados em líquidos percolados provenientes de disposição final de lixo urbano gerados por diferentes sistemas de aterramento.

O estudo foi realizado no município de Ribeirão Preto, analisando-se 45 parâmetros em amostras de líquidos percolados de aterros sanitários, distintos entre si nos seguintes aspectos: geológico, cronológico e operacional.

A partir dos resultados obtidos, pretende-se verificar os parâmetros analisados nos diferentes líquidos percolados, procurando-se compará-los entre si, para verificação de possível influência do tipo de aterramento em relação a essas variáveis.

O trabalho objetiva ainda, o desenvolvimento e adaptações de técnicas referentes às metodologias para a determinação dos parâmetros, visando a eliminação de interferentes das amostras complexas, como é o caso dos líquidos percolados e chorume.

Os resultados foram obtidos através de ensaios realizados no Laboratório de Recursos Hídricos da Universidade de Ribeirão Preto –UNAERP.

Palavras-chaves: líquidos percolados; aterro sanitário; análises físico-químicas.

## ABSTRACT

PASCHOALATO, C.F.P.R. (2000). *Characterization of leachate originated from final disposal of municipal landfill produced by different system of disposal*. São Carlos, 2000. 97p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

This work is aimed on a study about the analysis of analytical parameters determinate on leachate from final disposition of municipal landfill produced by different systems of disposal.

The study took place in the town of Ribeirão Preto, analyzing forty five parameters in samples of leachate from landfill area, distinct among themselves in aspects such as geological, chronological and operational.

From given results it is intended to check the parameters analyzed in different leachate comparing themselves, for checking possible influence from the kind of landfill area according to the aspect above.

Its techniques referent the methodology to determinate the parameters, trying to put interference of matrix samples such is the leachates.

The results were achieved through studies do realizable the hydric sources laboratory at the university of Ribeirão Preto-UNAERP

Keywords: leachate, landfill, chemical and physical analysis

## 1. INTRODUÇÃO

Problemas existentes, desde as cidades mais populosas até as comunidades mais carentes, faz com que um número crescente de pesquisadores e administradores municipais se esforcem para encontrar soluções viáveis para as questões do lixo urbano. Esses problemas são realmente novos e, infelizmente, necessitam de uma ação conjunta para serem resolvidos.

As situações são bem diferentes de município para município. Pode-se garantir que, frente aos recursos humanos e materiais de cada administração, essas dificuldades são sempre acentuadas.

Sob diferentes aspectos, os problemas de disposição final de lixo vêm incomodando hoje as diversas cidades brasileiras e, dessa forma, afligindo mais fortemente algumas prefeituras que outras.

Isto não significa que os problemas causados pela disposição final de lixo sejam menores ou mais fáceis de serem resolvidos em locais onde parece que incomodam menos. Problemas não percebidos visualmente podem, em pouco tempo, causar grandes danos ao meio ambiente.

Os estudos para viabilização e mapeamento geotécnico de áreas para instalação de aterros sanitários compreendem uma seqüência de atividades para a identificação e análise da aptidão destas áreas para tal procedimento. Muitas vezes, porém, os municípios já dispõem de algumas áreas cuja aptidão faz-se necessário avaliar. Estas podem ser áreas degradadas e de interesse para recuperação (cavas de mineração, áreas de empréstimo, erosões etc.). Deve-se ter sempre em vista a importância do estudo de viabilização destas áreas. Sua ausência pode acarretar danos irreparáveis ao meio ambiente.

Na cidade de Ribeirão Preto, por exemplo, os resíduos sólidos coletados são de natureza preponderantemente doméstica, tendo também uma pequena contribuição de resíduos industriais de empresas de pequeno porte situados dentro da área urbana, além do lixo hospitalar, que é recolhido em coleta separada.

Em 1976, a administração pública do município entrou em acordo com o proprietário do Sítio Santa Rita, Sr. Orlando Soares Castilho, para depositar o lixo urbano numa grande cavidade existente em sua propriedade, resultante da exploração de areia e solo comercializados para construção civil. Este depósito foi denominado “lixão de Serrana”. Cujos problemas advindos são parte do presente estudo e constituem importante problema ambiental para o município.

A ausência de um estudo prévio de viabilização da aptidão desta área, degradada por mineração, para sua utilização como aterro, tem causado grande problema, devido ao fato de sua localização geológica estar em solo de Formação Botucatu - Pirambóia. Deu-se, então, origem à suspeita de contaminação do lençol freático, que é utilizado para o abastecimento público de água potável para a totalidade do município.

Posteriormente, num estudo realizado por ZUQUETTE (1993), através de uma análise para a região de Ribeirão Preto, elaborou-se uma carta a respeito do potencial de risco de contaminação das águas subterrâneas pela atividade agrícola do município. Pelo zoneamento realizado, concluiu-se que pelo menos 30% da região apresenta alto potencial de contaminação das águas subterrâneas, e que existe uma extensão considerável com fortes limitações à ocupação agrícola devido aos seguintes atributos: declividade, pedregosidade, nutrientes, textura e retenção de água.

Recentemente, o Centro de Estudo Geoquímico do Centro de Pesquisas da Petrobras (CEGEQ-CENPES), em cooperação com a Universidade da Associação de Ensino de Ribeirão Preto (UNAERP) e a Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMMA), realizou um estudo na área degradada do lixão de Serrana. O estudo teve como objetivo avaliar e propor ações mitigadoras para o impacto ambiental indireto causado pela disposição do lixo em solo localizado sobre uma região de recarga do lençol freático.

No referido estudo, os resultados obtidos referentes à caracterização dos líquidos percolados do lixão de Serrana foram de extrema importância. Concluiu-se que a contaminação do lençol se originou através de uma faixa no terreno degradado, onde os líquidos percolados apresentaram baixas concentrações de constituintes devido à percolação e diluição dos mesmos, através das chuvas, pelo solo arenoso.

Segundo FERREIRA & COSTA (1998), tal faixa seria uma janela de entrada dos líquidos percolados para o lençol freático. O lixão de Serrana operava sem critérios de engenharia para drenagem de águas pluviais, sem sistema de coleta de líquidos percolados e sem drenagem de gases, e a cobertura diária do lixo nem sempre era possível.

Assim, o lixão de Serrana foi encerrado em 1990, porém seus problemas só foram identificados e só começaram a ser objeto de estudo alguns anos depois.

Após o encerramento de lixão de Serrana, a administração municipal decidiu implantar um aterro sanitário, operado e construído dentro dos padrões exigidos pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) e conforme as normas da ABNT, para receber os resíduos sólidos domésticos e utilizar um incinerador para o lixo hospitalar.

O município elaborou um Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA, 1988) para viabilizar a implantação do atual aterro sanitário, denominado Aterro de Dumont.

Este aterro entrou em operação a partir de 1990 e está situado nas margens da rodovia Mário Donegá, km 0,5, que liga as cidades de Ribeirão Preto e Dumont. Esta área, anteriormente, era ocupada por um canal. Seu solo apresenta geologia de Formação Serra Geral (diabásio e bazáltico), que é o segundo objeto de estudo do presente trabalho.

Pretende-se correlacionar os parâmetros analíticos estudados em ambos os aterros, procurando-se avaliar as diferenças existentes nos líquidos percolados para cada processo de disposição final de resíduos.

As características físico-químicas mais comuns que se conhece sobre líquidos percolados limitam-se a poucos parâmetros. O presente trabalho pretende expandir o número destes parâmetros para uma melhor caracterização de tais poluentes, com o objetivo de se conhecer seu risco na contaminação em águas subterrâneas, bem como para a viabilizar propostas para tratamento de percolados. Pretende-se, também, comparar entre si parâmetros analisados obtidos de sistemas de aterramento distintos, para avaliar a influência do sistema operacional de um aterramento nos líquidos percolados gerados.

## 2. OBJETIVOS

São objetivos deste trabalho:

- Caracterizar os líquidos percolados em solos degradados através das determinações de 45 parâmetros analíticos;
- Estabelecer comparação destes parâmetros em relação a sistemas de disposição final de resíduos por lixão e por aterro sanitário;
- Investigar parâmetros analíticos que evidenciem a presença do líquido percolado, a fim de monitoramento de águas subterrâneas em aterro sanitário.

### 3. REVISÃO DA LITERATURA

Através da literatura consultada, destacam-se as seguintes definições e conceitos a respeito de resíduos que são de grande importância para o assunto:

#### 3.1. Lixão

O denominado “lixão”, ou vazadouros, é uma forma inadequada de disposição final de resíduo sólido, que se caracteriza pela simples descarga dos dejetos sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente e à saúde pública, ou, o mesmo que descarga de dejetos a céu aberto. ABNT (1989).

Os resíduos assim lançados acarretam problemas à saúde pública, como proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos etc.), geração de maus odores e principalmente a poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas através do chorume gerado pela decomposição da matéria orgânica contida no lixo, comprometendo os recursos hídricos.

Acrescenta-se a esta situação o total descontrole quanto aos tipos de resíduos recebidos nestes locais, verificando-se a disposição de dejetos originados dos serviços de saúde e das indústrias.

Normalmente, ainda se associam aos lixões fatos altamente indesejáveis, como a criação de porcos e a existência de catadores (que muitas vezes residem no local).

### 3.2. Aterro controlado

É uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbano no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e a sua segurança, minimizando os impactos ambientais.

Esse método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho. ABNT (1985).

Esta forma de disposição produz, em geral, poluição localizada, pois similarmente ao aterro sanitário, a extensão da área é minimizada. Porém, geralmente não dispõe de impermeabilização da base (comprometendo a qualidade das águas subterrâneas), nem sistemas de tratamento de chorume ou de dispersão dos gases gerados.

Esse método é melhor que o lixão, porém, devido aos problemas ambientais que causa e seu custo operacional, é um método inferior ao do aterro sanitário.

### 3.3. Aterro sanitário

De acordo com a CETESB (1979), o aterro sanitário é um processo utilizado para disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente lixo domiciliar, que fundamentado em “critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permite a confinação segura em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública”, ou, “...*forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, através de confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, segundo normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais(...)*”. ABNT (1989).

Como mostra a Figura 1, de acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB)1989, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, a disposição final de lixo nos municípios brasileiros assim se divide: 76% lixões; 13% em aterros controlados e 10% em aterros sanitários, sendo que 1% passam por tratamento, a saber: compostagem, reciclagem e incineração.

Em função da não disponibilidade de áreas para implantação de aterros e do aumento na quantidade de resíduos gerados, tem-se uma moderna concepção para aterros sanitários, sendo o conceito entendido como o local onde o lixo deve ser “purificado”, minimizando o impacto ao meio ambiente. JARDIM (1995).

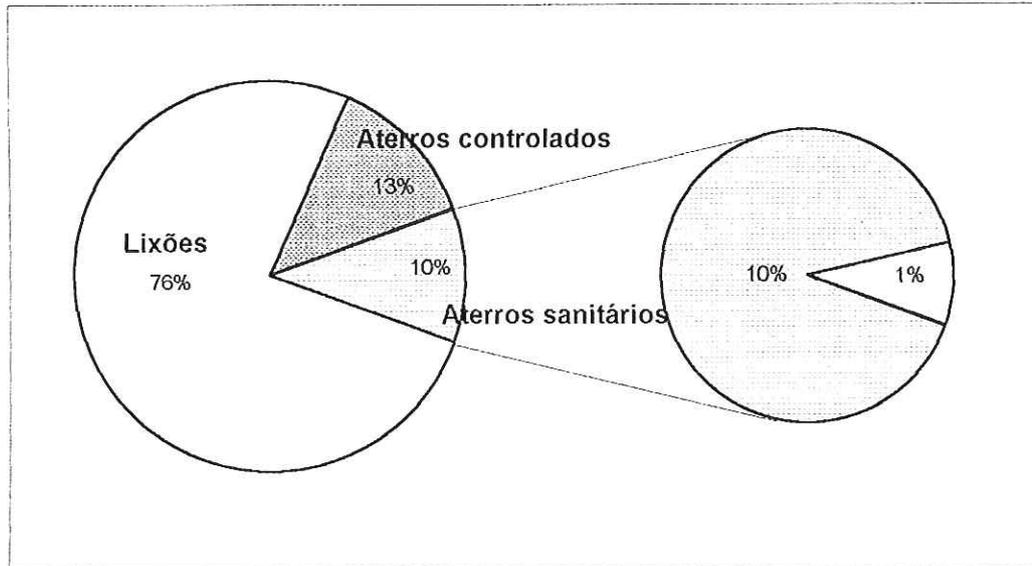


FIGURA 1 - Gráfico representativo da disposição final do lixo no Brasil  
Fonte: IBGE, 1991.

Essa idéia pressupõe não somente a cobertura do lixo e a sua, longa e eventualmente secular, digestão anaeróbia, constituindo-se em fonte constante de poluição, como também algum aproveitamento do lixo, acelerando a sua inertização, minimizando e recuperando as áreas de disposição; devendo-se, assim, quebrar o ciclo do processo unicamente acumulativo do lixo, que polui o solo, a água e o ar, impedindo o uso mais nobre das áreas dos aterros.

Neste sentido, a concepção do aterro sanitário como local de tratamento deve preceder às ações de execução do aterro, buscando-se alternativas e sistemas adequados. Assim, conforme a Norma Brasileira Registrada (NBR) n.º 8419 de 1984, devem ser previstos os seguintes componentes no projeto:

- sistema de tratamento dos resíduos a serem dispostos;
- sistema de tratamento de base (impermeabilização da fundação);
- sistema de operação (trincheira, rampa ou área);

- sistema de drenagem da fundação;
- sistema de cobertura;
- sistema de drenagem das águas pluviais;
- sistema de drenagem dos líquidos percolados;
- sistema de drenagem dos gases;
- sistema de coleta e tratamento dos líquidos percolados;
- sistema de tratamento dos gases;
- sistema de monitoramento;
- fechamento final do aterro.

### **3.4. Líquidos percolados**

Os líquidos percolados são efluentes líquidos gerados em locais de disposição de rejeitos, que por vezes também são denominados de forma inadequada por alguns autores de chorume.

#### **3.4.1. Ocorrência dos líquidos percolados**

O chorume, essencialmente, é o resultado da ação enzimática dos microorganismos do sistema e dos produtos resultantes da biodegradação.

De acordo com SCHALCH (1992a), os líquidos percolados são aqueles que de fato compõem a fase líquida do aterro sanitário. Esses líquidos ocupam, juntamente com os gases, os interstícios existentes na fase sólida.

Os líquidos são produzidos como consequência de uma complexa gama de interações entre fatores relacionados com o local de disposição do lixo como geológico, hidrogeológico, hidrometeorológico e topográficos, além da composição do rejeito (incluindo teor de umidade e inoculação microbiana), compactação das células, impermeabilização e cobertura vegetal.

O chorume, proveniente da degradação da matéria orgânica, é uma fonte altamente poluente, contendo altas concentrações de carga orgânica e metais pesados.

Segundo BALDOCHI (1990), os líquidos percolados formados, denominados de percolados ou lixiviados, são consequência de:

- infiltrações de água de chuva;
- infiltrações de águas subterrâneas;
- escoamento superficial no lixo depositado;

Uma das melhores definições para estes líquidos é apresentada nos estudos realizados por FUZZARO (1994), sendo a formação de chorume proveniente da decomposição da matéria orgânica presente no lixo que resulta na formação de um líquido de cor escura, odor desagradável e elevado potencial polidor, denominado chorume. A percolação das águas de chuva através da massa de resíduos arrasta consigo o chorume, bem como outros materiais em solução ou suspensão, constituindo-se os chamados líquidos percolados dos aterros.

Segundo o mesmo autor, esses líquidos percolados são formados ainda pela umidade natural do lixo; pela água de constituição de alguns materiais presentes no lixo, liberada pela compactação ou pela própria decomposição; pelos líquidos gerados no processo biológico de decomposição de determinados elementos existentes no lixo; pela contribuição de nascentes, bem como pela água da chuva precipitada sobre o aterro. As duas últimas parcelas são normalmente muito superiores às demais, sendo comum a não formação desses líquidos nos aterros implantados em locais secos, onde a taxa de evapotranspiração é maior que a da precipitação.

### **3.4.2. Caracterização dos líquidos percolados**

Segundo SCHALCH (1992b), além da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que atinge valores da ordem de 10 a 100 vezes superiores aos do esgoto doméstico (DBO=300 mg/l), os líquidos percolados dos aterros apresentam ainda altos teores de cloretos, nitratos, sulfatos, zinco e outras substâncias, dependendo da composição dos resíduos aterrados e da presença de resíduos industriais.

Também é alta a concentração de microrganismos patogênicos, determinada pela presença de coliformes fecais, na ordem de  $10^6$  a  $10^8$  colônias por 100 ml.

É importante frisar que a composição desses líquidos pode variar consideravelmente de um local para outro, como também no mesmo local, dependendo das condições anteriormente mencionadas.

O líquido percolado (chorume) resultante dos aterros sanitários começa a infiltrar nos terrenos após alguns anos do fechamento da célula, para certos casos chegando até 4 anos, e a composição do chorume pode variar muito em função das características dos materiais lançados no aterro sanitário. ZUQUETTE (1994).

GRIFFIN et al. (1976) fizeram algumas considerações, a seguir apresentadas, sobre íons que podem fazer parte do chorume, tais como: cromo, mercúrio e chumbo, que são pouco móveis, sob algumas condições; arsênio e cromo hexavalente, sendo móveis sob certas características químicas dos terrenos; amônia, ferro e sódio, muito comuns, são considerados relativamente móveis. Os íons cloretos não sofrem qualquer atenuação pelos materiais terrosos.

Em um trabalho de monitoramento efetuado por KUAJARA et.al (1997), realizado durante 3 anos no aterro sanitário ao norte da cidade de Porto Alegre, RS Brasil, para controle de um processo de estabilização do rejeito soterrado (biorremediação), foram utilizados os seguintes parâmetros para sua análise; demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, pH, série nitrogenada, fosfato, condutividade, alcalinidade, resíduo total e metais pesados(Al, Ag, Ba, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb e Zn).

### **3.5. Modelo geológico dos aterros em estudo**

Recentemente, a Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Ribeirão Preto realizou um trabalho de zoneamento ambiental, mostrado na Figura 2.

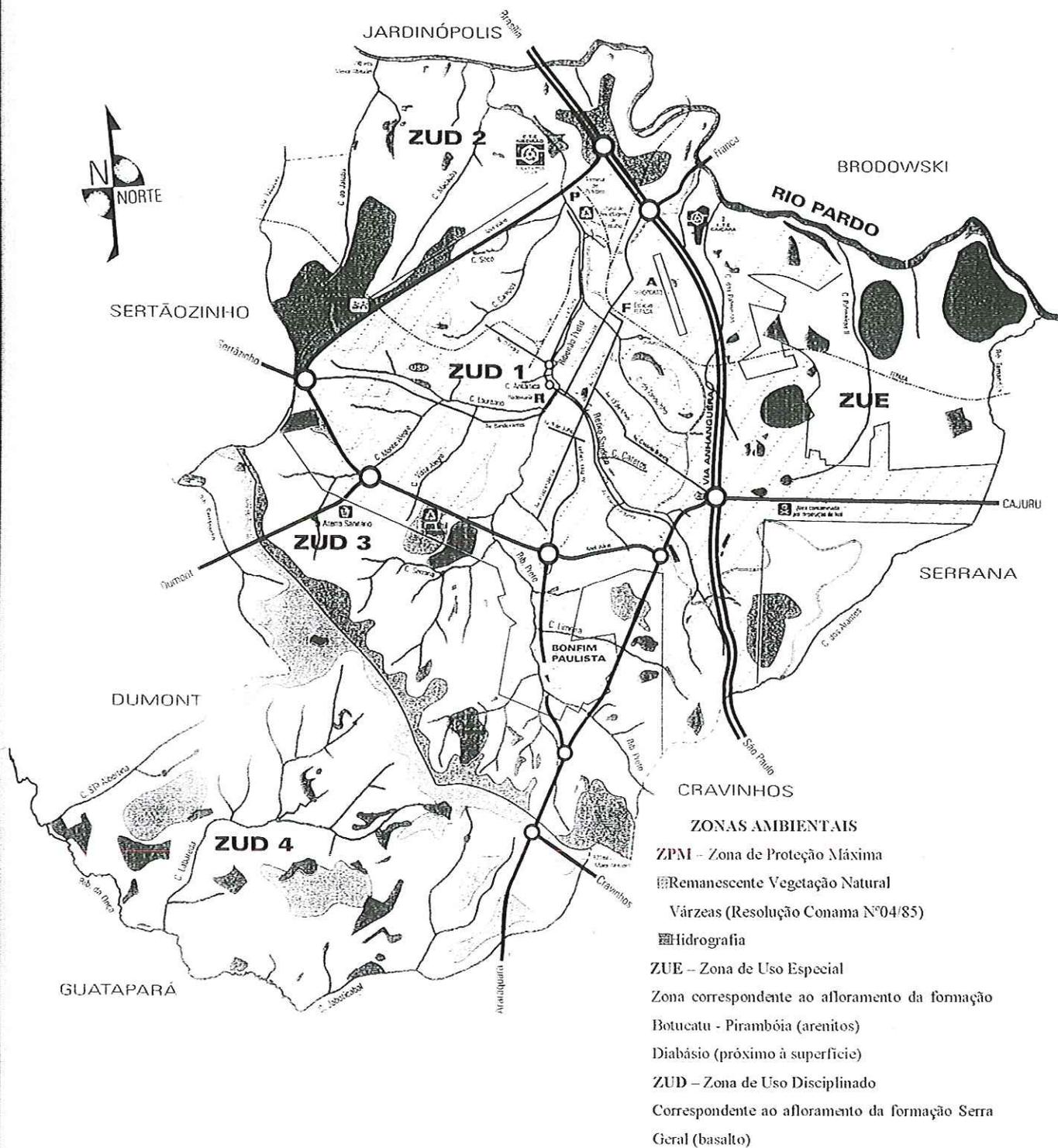


FIGURA 2: Mapa de Zoneamento Ambiental

Fonte: Secretaria Municipal do Meio Ambiente e Planejamento de Ribeirão Preto.

Este mapeamento mostra a localização dos aterros em estudo e os tipos de solo da região. O aterro de Serrana está localizado em uma zona codificada por ZUE (zona de uso especial), correspondente ao afloramento da Formação Botucatu-Pirambóia (arenitos). O Aterro de Dumont, localizado na zona ZUD 3 (zona de uso disciplinado), correspondente ao afloramento do Formação Serra Geral (basalto).

### 3.5.1. Geologia do lixão Serrana

Segundo PEJON & ZUQUETTE (1991), uma apresentação do modelo geológico dentro do contexto regional e local, mostra que o município de Ribeirão Preto está localizado na região N-NE da bacia intracratônica do Paraná .

No município afloram apenas sedimentos do grupo São Bento e depósitos cenozóicos.

O grupo São Bento, constituído pelas formações Pirambóia (TRJp), Botucatu (JKb) e Serra Geral (JKsg) apresenta os melhores aquíferos da Bacia do Paraná.

Da Base para o topo, de forma resumida, as características das formações aflorantes são as seguintes:

Formação Pirambóia – Aflora no extremo leste do município. É constituída de arenitos avermelhados de granulação muito fina e média e grãos hialinos. Às vezes apresenta caráter siltico – argiloso na base e grosseiro até conglomerático no topo.

A estratificação é predominante plano-paralela, com alternância de lâminas arenosas e siltico-argilosas. A espessura total desta formação é da ordem de 160 metros, de acordo com medição efetuada em poços profundos da região.

As características litológicas indicam a formação de um ambiente continental úmido, oxidante, predominante fluvial, com canais meandrantés e planícies de inundações.

Em termos de idade, a Formação Pirambóia é reportada por alguns autores como pertencente ao Mesozóico / Jurássico Superior a Triássico Superior.

Formação Botucatu – Caracteriza-se por seus arenitos avermelhados, finos e médios, com grãos foscos bem selecionados, apresentando alta esfericidade. Arenitos médios a conglomeráticos ocorrem sob a forma de lentes na base da formação. Leitões esporádicos de argilitos e sílticos são também observados.

A formação Botucatu repousa sobre a formação Pirambóia através de um contato gradual ou localmente brusco. O contato com os derrames basálticos sobrepostos da Formação Serra Geral é por discordância ou interdigitação.

Esta formação foi depositada no período compreendido entre o Jurássico Médio / Superior e o Cretáceo Inferior. (FERREIRA, 1998)

Formação Serra Geral – Formada por derrames basálticos, às vezes com arenitos intertrapianos semelhantes aos da formação Botucatu, além de intrusivas associadas (diques e soleiras). Os basaltos são de cor cinza escura e negra, textura afânítica e estrutura maciça.

A Formação Serra Geral está em contato com a Formação Botucatu por intergitação ou discordância. A existência de arenitos intertrapianos indica um ambiente ainda desértico quando do extravasamento das lavas através de geoclaves e fraturas de menor porte.

O vulcanismo ocorreu entre o Jurássico Superior e o Cretáceo Inferior.

Sedimentos Cenozóicos – Estão representados no município de Ribeirão Preto por sedimentos aluvionares, nos quais predominam areias inconsolidadas de granulometria variável, argila e cascalho fluviais; e por sedimentos coluvionares, arenosos e argilosos, associados e encostas.

A Figura 3 mostra um mapa geológico simplificado da área do lixão de Serrana e suas imediações. Essa área apresenta a Formação Botucatu capeada por sedimentos cenozóicos (colúvio, Ce/JKb) e afloramentos de rochas básicas da Formação Serra Geral ( Jk/sg).

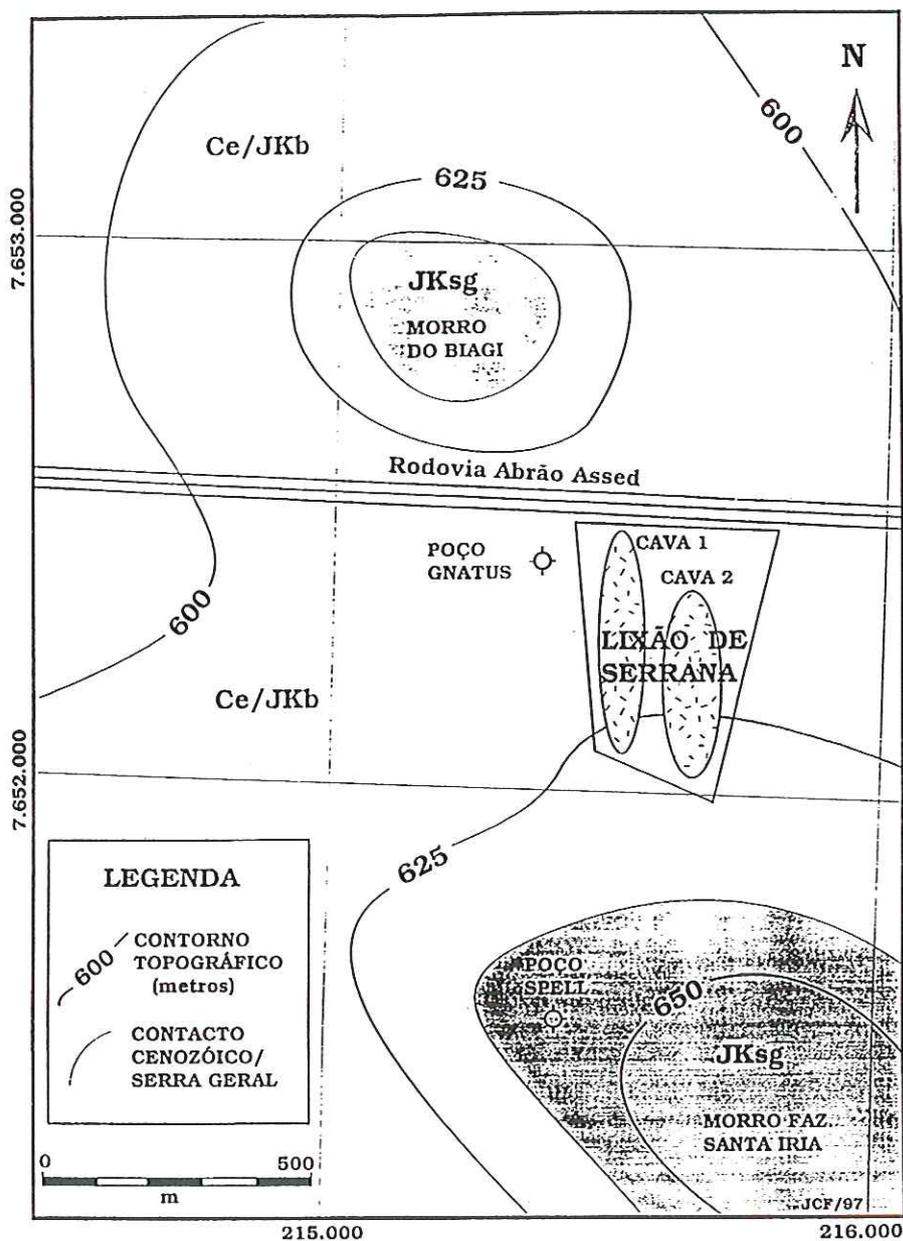


FIGURA 3: Mapa geológico simplificado do lixão de Serrana  
 Fonte: Relatório final – CENPES – CEGEQ Petrobras (1998)

### 3.5.2 Geologia do aterro de Dumont

O aterro de Dumont foi implantado após aprovação em audiência pública de um EIA/RIMA. Neste estudo, um dos critérios de escolha que viabilizou o local para implantação do aterro foi a espessura da camada de rocha básica sobre o arenito Botucatu.

No arenito Botucatu situa-se o aquífero que abastece a cidade de Ribeirão Preto. Em alguns locais do município existe uma camada de rocha básica sobreposta ao arenito, que protege de contaminação por materiais infiltrados no solo (desde que não haja fraturas na rocha). No local escolhido para o aterro municipal, denominado de aterro de Dumont, o lençol freático encontra-se a 20 metros de profundidade.

Esta área é constituída por rochas básicas (diabásio) cobertas por manto de decomposição e solo oriundos dessa rocha. (ALVARENGA, 1988).

As rochas básicas existentes no município de Ribeirão Preto pertencem à denominada Formação Serra Geral (triássico – jurássico). Essas rochas, originadas pela atividade magmática fissural, resultam em corpos extrusivos (basaltos) e intrusivos (diabásios).

Ainda segundo Alvarenga (1988), durante os trabalhos de campo efetuados nesta região nos últimos anos, tem-se verificado a ocorrência de grande número de corpos intrusivos (diabásios), predominando sobre os corpos extrusivos (basaltos).

### **3.6. Cronologia e operação dos aterros**

O lixão de Serrana e o aterro de Dumont são diferentes sob aspectos cronológicos: O lixão de Serrana operou de 1978 a 1989 e no aterro de Dumont as atividades foram iniciadas a partir da década de 90, encontrando-se ainda em atividade (1999).

Os aterros em estudo diferem, entre si, principalmente sob o aspecto operacional.

#### **3.6.1. Lixão de Serrana**

Em 1978, o lixão denominado Juliana, onde estava sendo depositado todo o lixo da cidade de Ribeirão Preto, ficou saturado. Iniciou-se, assim, a operação do lixão de Serrana, localizado no quilômetro 1,5 da Rodovia Abrão Assed (SP-333), conforme mostra a Figura 4.

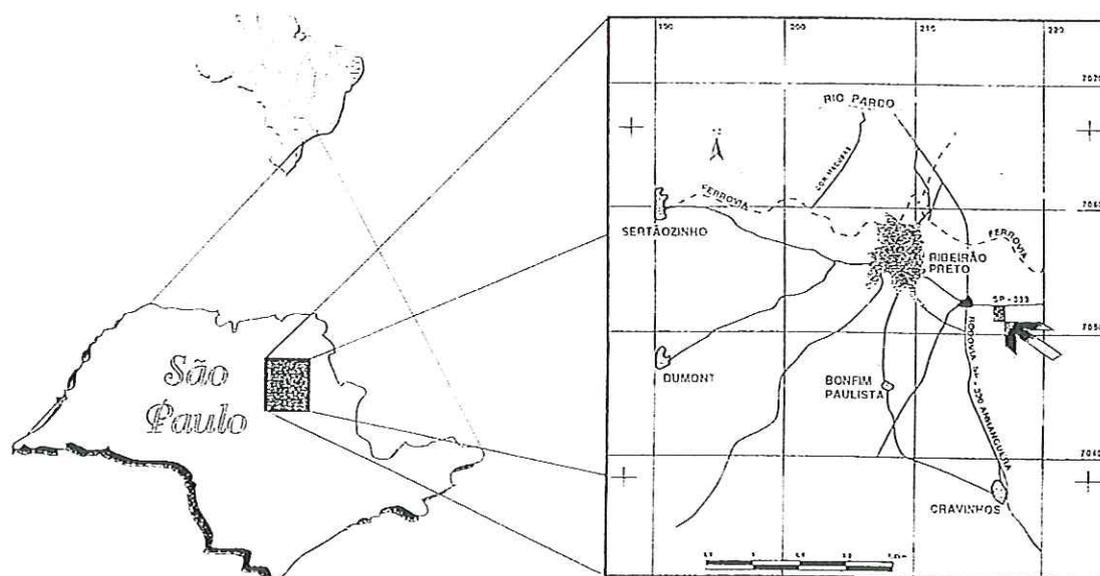


FIGURA 4 – Mapa de localização da área do lixão de Serrana

Fonte: Relatório Final, CENPES – CEGEQ, Petrobras

No início da operação do lixão, a área já apresentava uma cavidade provocada pela extração de solo e areia comercializados na construção civil.

Ali foram depositados cerca de 110 toneladas diárias de lixo doméstico, hospitalar, industrial e de construção civil, além de animais, sem separação de locais. Além disso, o lixo doméstico não era inicialmente acondicionado em sacos plásticos, prática que foi implantada alguns anos depois.

Quanto ao lixo industrial, compunha-se de resíduos de borracha, resíduos metálicos e lixo da indústria de bebidas, entre outros. Não havia controle dos resíduos dispostos no lixão.

Através do auxílio de um trator de esteira modelo D7 Fiat, o lixo descarregado em montes pelos caminhões de coleta, era espalhado e compactado. Ao término das operações diárias, cobria-se o lixo com uma camada de solo com aproximadamente 30 cm de espessura.

No período chuvoso as operações eram dificultadas e às vezes interrompidas. As águas de chuvas infiltravam no lixo disposto, lixiviando os resíduos.

Com base nas informações obtidas junto ao geólogo Maurício de Melo Figueiredo Jr., da Secretaria Municipal do Meio Ambiente, a cobertura diária do lixo era realizada com terra do próprio local e nem sempre foi efetuada, não podendo considerar que a operação se adequasse a um aterro controlado.

No início das operações o lixo era depositado em toda área. A partir de um determinado momento, entretanto, foi efetuado um aterro na parte central do terreno, visando facilitar o acesso dos caminhões transportadores. Foram assim criadas as duas cavas (trincheiras) do lixão de Serrana, paralelas e de direção aproximada norte-sul (Figura 3).

As cavas do lixão de Serrana têm profundidade máxima de 12 metros. Pode-se concluir que, nos locais em que a cobertura geológica (cenozóico e ígneas) é inferior a essa profundidade, a escavação das trincheiras ou cavas atingiu a formação Botucatu, criando uma “janela”, onde a formação ficou exposta.

Numa fase posterior (1987 – 1989), o lixo hospitalar e os animais mortos foram depositados separadamente dos demais, em trincheiras localizadas na região sul da cava menor e o lixo industrial foi depositado ao norte da cava maior. ROSELLI (1995).

Para reduzir o enchimento das cavas, os catadores de lixo colocavam fogo nos resíduos. Tal operação durava vários dias e provocava um abatimento do topo do lixo da ordem de 3 a 4 metros com a redução de seu volume. Dessa forma aumentavam a vida útil do lixão e mantinham a continuidade das operações.

Em 1989 o lixão ficou saturado. De acordo com A Cidade de 04/01/89, a notícia publicada era a seguinte: “A situação do lixão”...*é crítica, uma vez que não existem mais valas para o depósito do lixo, que a mais de 2 meses vem sendo espalhado pelo terreno sem o menor critério, formando montes de mais de 2 metros de altura onde dezenas de pessoas, inclusive crianças, trabalham diariamente no local recolhendo material para ser vendido como sucata”.*

No dia 26/01/89 o mesmo jornal noticiava que “... o atual lixão, na estrada de Serrana, começa a invadir a pista e representa séria ameaça aos moradores próximos daquele local”.

O lixo do município de Ribeirão Preto continuou a ser depositado no lixão até o final de 1989. Foi efetuada uma cobertura de terra cedida pelo Departamento de Estrada de Rodagem (DER) para impedir a proliferação de moscas. Começaram então as preocupações quanto aos possíveis impactos ambientais causados pelo lixão abandonado, inclusive com proposições para evitá-los.

O jornal A TARDE de 29/07/1990 registra a solução proposta pelo Partido Verde: "...remoção de todo o lixo depositado na área para um novo aterro sanitário".

Em 1991 e 1992 foram perfurados 20 poços de monitoramento na área do lixão de Serrana e suas imediações para avaliar a qualidade da água subterrânea, permitindo-se observar ao longo dos anos, num processo de monitoramento, se o líquido percolado, gerado pela decomposição da matéria orgânica aterrada, não estaria contaminando o lençol freático.

A disposição destes poços está representada na Figura 5, sendo desconsiderados os poços P1, P2 e P16. Os Poços P3, P6 e P17 são poços profundos, com cerca de 60 metros de profundidade, completados no arenito Botucatu, o principal aquífero da região. Seus poços gêmeos, P4, P5 e P18, são poços rasos, completados em sedimentos cenozóicos superpostos à Formação Botucatu.

Percebe-se, pela Figura 5, que os poços completados no Botucatu, com objetivo de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, estão dispostos linearmente ao norte do terreno (de frente para a rodovia). Este fato leva a crer que o sentido de escoamento das águas subterrâneas seria do sul para o norte.

Dentro da cava oeste do depósito de lixo foram perfurados 9 poços de monitoramento, completados no próprio lixo soterrado, identificados como: P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, e P15. Desses poços, os de número P10 e P11 apresentaram a parte superior destruída, estando a parte restante perdida sob a área alagada da cava.

Em 1997, por ocasião dos estudos geoquímicos que estavam sendo executados no local, foram perfurados dentro da cava leste, a menor, 3 poços tubulares completados no lixo, sendo denominados de poços: P21, P22 e P23.

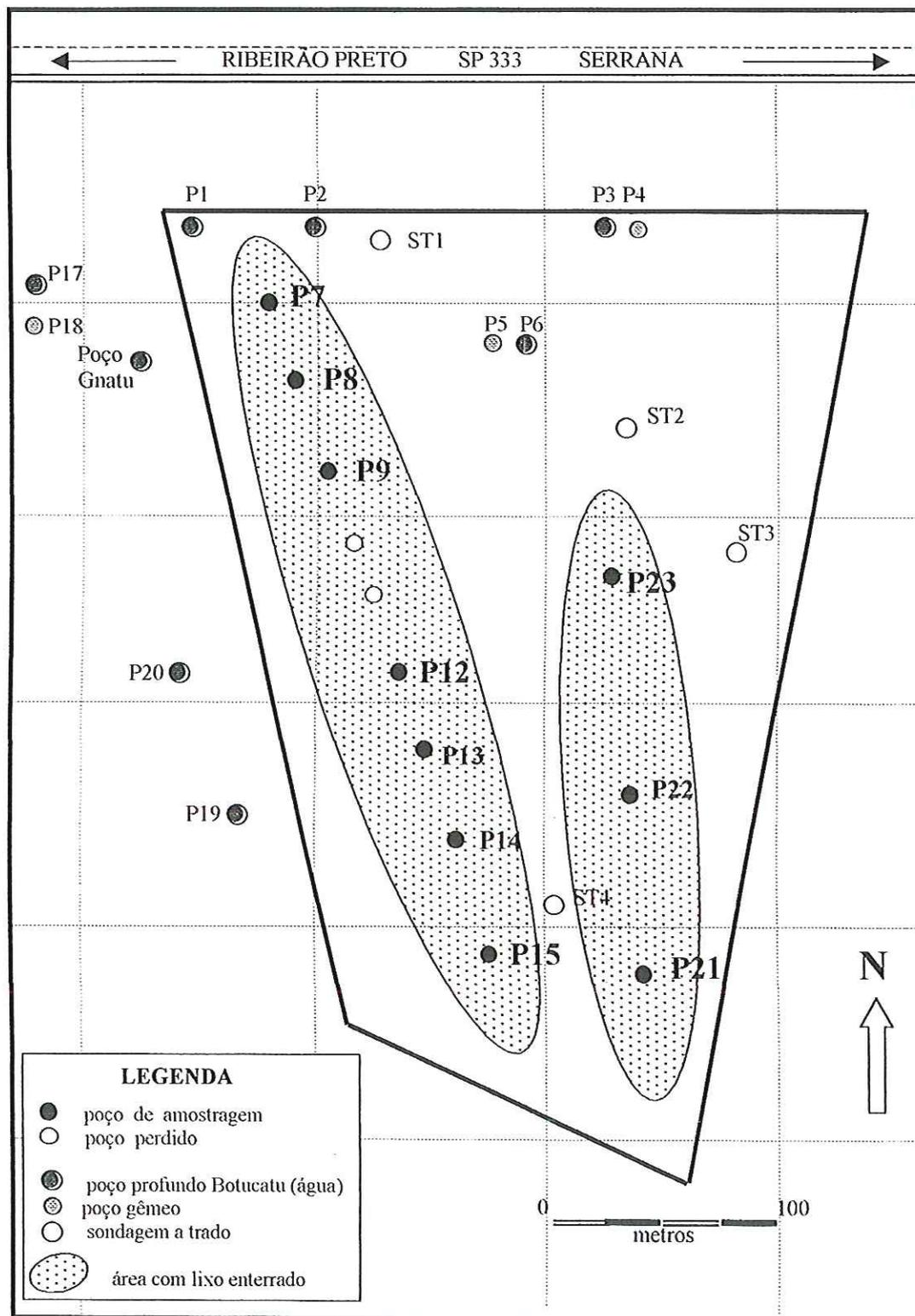


FIGURA 5 – Poços existentes na área do lixão de Serrana  
 Fonte: Relatório final CENPES – CEGEQ - Petrobras

### 3.6.2. Aterro de Dumont

O Aterro de Dumont entrou em operação em 1990. Está situado nas margens da rodovia Mário Donéga, km 1,5, próxima ao anel viário de Ribeirão Preto, limite do perímetro urbano, ocupando uma área de 135.000 m<sup>2</sup>.

Atualmente, aterra 430 toneladas por dia de lixo doméstico e incinera 7 toneladas por dia de lixo hospitalar.

O aterro opera dentro das normas exigidas pela ABNT.

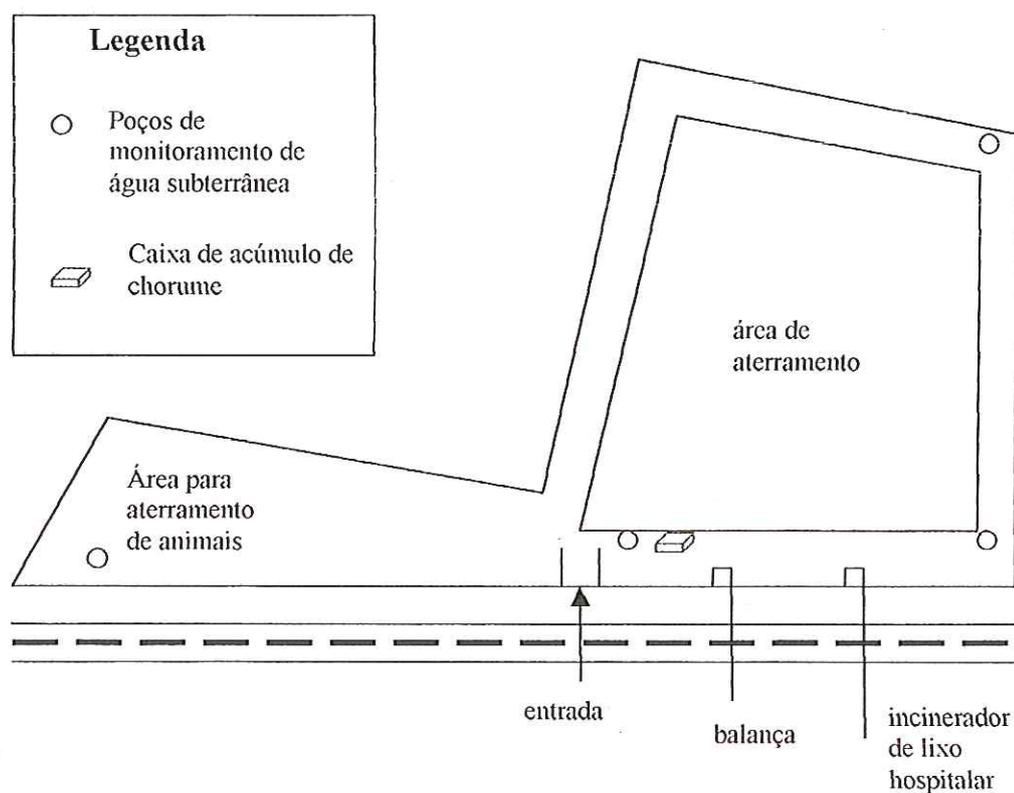


FIGURA 6: Leiaute do aterro de Dumont

Fonte: EIA RIMA (1989)

O sistema operacional, basicamente consiste no espalhamento do lixo sobre o solo, em camadas sucessivas, compactando-o com trator ao menor volume prático possível e recobrando-o com uma camada de terra, de espessura conveniente, ao fim de cada jornada de trabalho.

O sistema de drenagem de líquidos percolados está localizado na crista do aterro de regularização. São drenos de secção retangular, escavados e preenchidos com pedra brita n.º 4. Os drenos têm a função de conduzir o chorume até a caixa de acumulação, de onde este líquido é bombeado por recalque e conduzido através de uma mangueira flexível até o topo do aterro. Esta recirculação de chorume provoca uma nova percolação, favorecendo a velocidade do processo de decomposição da matéria orgânica.



FIGURA 7: fotografia do aterro de Dumont, recepção e pesagem de lixo.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Dois aterros foram estudados neste trabalho, ambos localizados no município de Ribeirão Preto, sendo o primeiro denominado lixão Serrana e o segundo aterro sanitário de Dumont.

Os resíduos sólidos dispostos no lixão de Serrana são de origem doméstica, industrial e hospitalar, enquanto os resíduos do aterro de Dumont são estritamente domésticos.

A metodologia adotada para o desenvolvimento da pesquisa consistiu na realização de análises físico-químicas quantitativas, em amostras coletadas nos poços de chorume no lixão de Serrana e na caixa de acumulação de chorume do aterro sanitário de Dumont.

### 4.1. Amostragem

As amostragens foram efetuadas nos poços de monitoramento do lixão de Serrana conforme as recomendações técnicas da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). Todos os poços foram esgotados um dia antes da coleta, sendo tal procedimento necessário para se descartar a possibilidade de coletar líquidos que estivessem estagnados e concentrados no tubo dos poços. O volume esgotado correspondeu a 3 vezes ao volume que continha cada poço, considerando-se o nível, a profundidade e o diâmetro.

A amostragem no lixão de Serrana aconteceu no dia 23 de abril de 1997. Para minimizar os efeitos sazonais causados por águas pluviais que poderiam influenciar na concentração dos líquidos percolados, realizou-se a coleta no aterro de Dumont nesta mesma época do ano, no dia 26 de abril de 1999.

No lixão de Serrana foram consideradas as análises de 10 poços tubulares rasos completados no lixo soterrado, dispostos de forma linear no terreno, conforme mostrado anteriormente na Figura 5.

São poços tubulares de Cloreto de poli Vinil (PVC), com perfurações nas paredes, que permitem a captação dos líquidos percolados formados no interior do lixo soterrado. Os poços de líquidos percolados amostrados foram denominados: P7, P8, P9, P12, P13, P14, P15, P21, P22 e P23, conforme mostra a Figura 8.

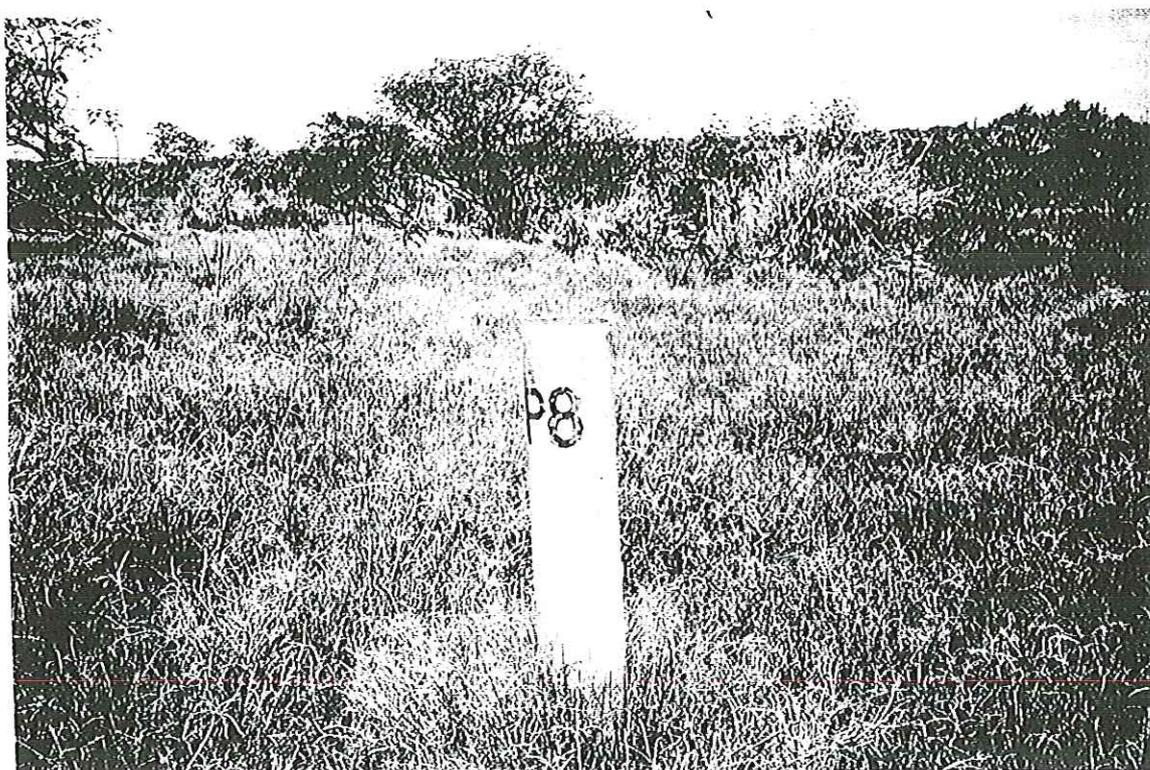


FIGURA 8 – Poço tubular completado no lixo do lixão de Serrana

O equipamento utilizado para a coleta das amostras de líquido percolado nos poços do lixão de Serrana constitui-se de um tubo de PVC branco, medindo 1,50 metros de comprimento e 2 polegadas de diâmetro, com uma válvula de retenção vertical instalada em uma das extremidades e um cordão de nylon, conforme mostra a Figura 9.

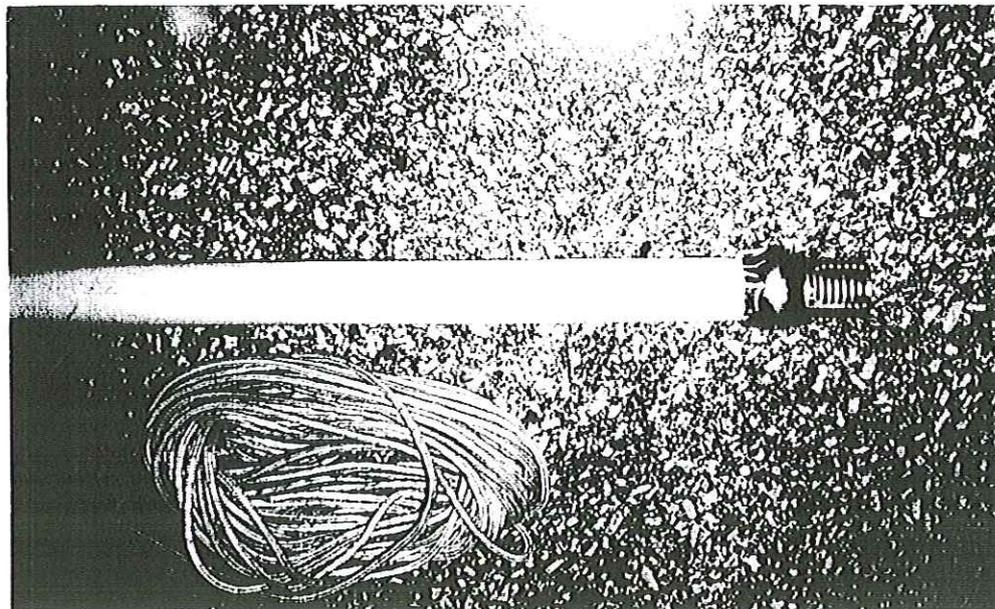


FIGURA 9: Equipamento utilizado para coleta nos poços do lixão de Serrana

No aterro de Dumont, o chorume é purgado pelo sistema de drenagem e conduzido para uma caixa de acúmulo, localizada na parte baixa do terreno no aterro, conforme ilustrado na Figura 10.

O chorume depositado na caixa de acúmulo é bombeado por recalque através de uma mangueira até o topo do aterro, onde, por infiltração, percola novamente.

Em cada amostra coletada de chorume, determinaram-se 45 parâmetros físico-químicos, sendo cada análise realizada em triplicata e adotado o valor da média aritmética. Foram considerados 495 resultados analíticos de 11 amostras.

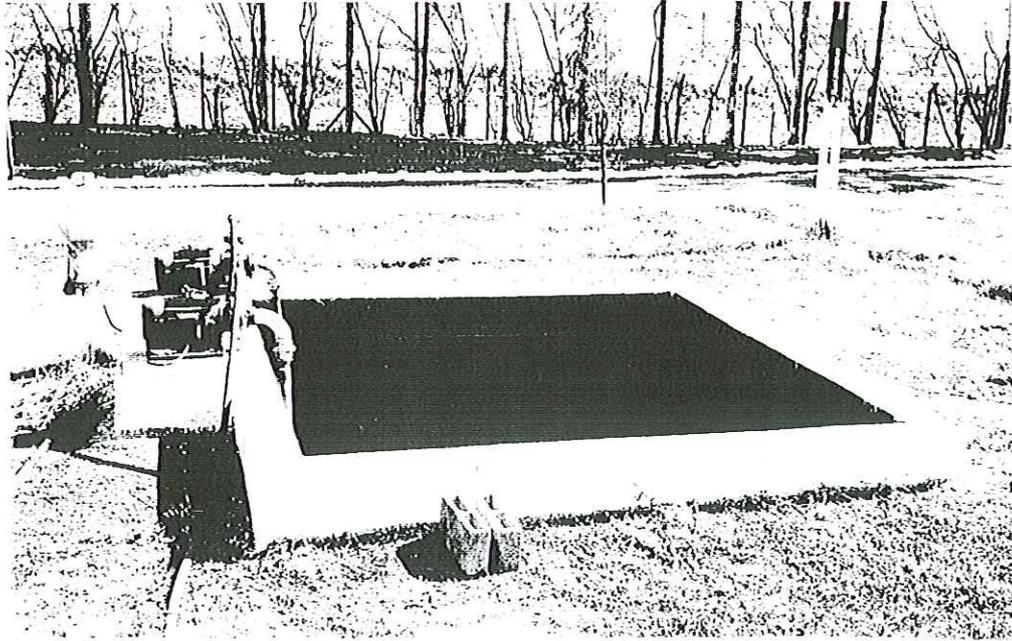


FIGURA 10 – Caixa de acúmulo de chorume do aterro de Dumont

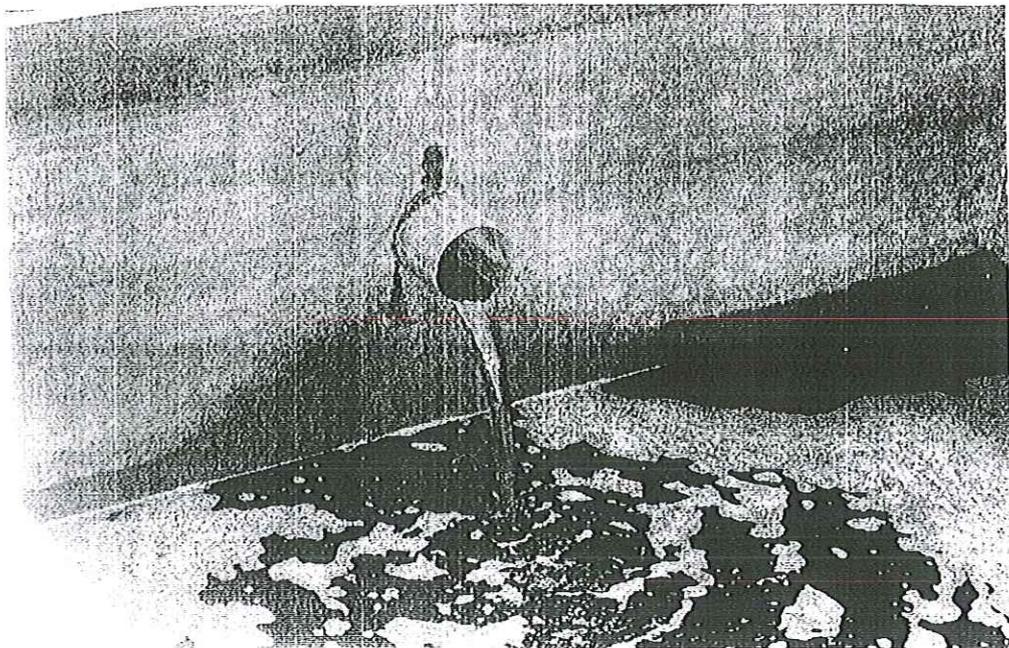


FIGURA 11 – O chorume drenado para a caixa de acúmulo

#### 4.2. Preservação das amostras

A preservação das amostras foi efetuada conforme as recomendações do Guia de Coleta da CETESB (1977).

Os frascos utilizados para coleta das amostras de líquidos percolados têm 5 litros de capacidade, constituídos de material plástico, devidamente identificados, limpos e secos.

A preservação das amostras por meio de adição de conservantes, foi efetuada em laboratório. Este procedimento visou facilitar o trabalho de transporte e manuseio das amostras do local de coleta para o Laboratório de Recursos Hídricos da UNAERP, visto que o tempo máximo de transporte foi de aproximadamente 30 minutos.

As amostras foram divididas em frascos menores de 500 ml e preservadas com ácido nítrico, 1 mol/l, até pH menor que 2 para determinação de metais pesados e em frascos de 200 ml, preservadas com 5 ml de ácido clorídrico 1:1 para determinação de substâncias solúveis em hexano.

O volume restante de amostra permaneceu no frasco original de coleta para início imediato dos demais procedimentos analíticos.

#### 4.3. Parâmetros analisados

Os parâmetros adotados para efeito de estudo do presente trabalho foram: alcalinidade de bicarbonato, alumínio, boro, carbono orgânico total, cálcio, chumbo, cianeto, cloretos, cobalto, cobre, condutividade, cor aparente, cromo total, cromo hexavalente, demanda bioquímica de oxigênio em 5 dias à 20°C, densidade, demanda química de oxigênio, dureza total, fenóis, ferro, fluoretos, fósforo, magnésio, manganês, níquel, nitrogênio albuminóide, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total de Kjeldahl, nitrato, nitrito, nitrogênio total, oxigênio consumido, pH, potássio, sódio, sólidos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis, sólidos sedimentáveis, substâncias solúveis em hexano, sulfato, sulfito, surfactantes, turbidez e zinco.

Os líquidos percolados possuem uma coloração escura variando de marrom para castanho, o que interfere significativamente nos procedimentos analíticos que

utilizam, na maioria, a espectroscopia para as determinações. Outro fator significativo, quanto a interferentes, é a grande quantidade de constituintes orgânicos e inorgânicos do líquido em estudo.

Os procedimentos adotados para eliminação destes interferentes nas análises estão descritos a seguir, sendo mencionada, em cada um deles, a técnica adotada.

#### **4.3.1. Alcalinidade de bicarbonato**

As amostras foram tratadas com carvão ativado para eliminação de interferentes e em seguida diluídas e filtradas em papel de filtro qualitativo.

O método utilizado para a determinação de alcalinidade foi o titulométrico de neutralização, usando os indicadores de fenolftaleína e alaranjado de metila com neutralização de solução padrão de ácido clorídrico, segundo o método que se encontra descrito em *Análises físico-química* (CETESB1997).

#### **4.3.2. Alumínio**

As amostras foram digeridas pelo processo via seca, sendo evaporadas e posteriormente calcinadas a 550°C por 1 hora. Ao resíduo adicionou-se ácido clorídrico 1:1 e com raspagem avolumou-se com água deionizada para 100ml. As determinações foram efetuadas nestas alíquotas. Este procedimento visa eliminar os interferentes.

Para a determinação de alumínio nos líquidos percolados, foi utilizado o método Eriocromo Cianina R. As leituras colorimétricas foram feitas em comprimento de onda de 535nm em espectrofotômetro da marca Varian, modelo CARY 1E, segundo o procedimento descrito pelo APHA (1980).

#### 4.3.3. Boro

As amostras foram digeridas por um processo via seca, sendo evaporadas e posteriormente calcinadas a 550°C por 1 hora. A esse resíduo, efetuou-se a adição de ácido clorídrico 1:1 e com raspagem avolumou-se para 100 ml. As determinações de boro foram efetuadas nestas alíquotas.

Foi utilizado o método da Azometina H, em espectrofotometria, com comprimento de onda na faixa de 420 nm. O equipamento usado é da marca Hach, modelo DR2000. Este método está descrito por ABREU (1994).

#### 4.3.4. Carbono orgânico total

As amostras foram acidificadas com ácido clorídrico 1:1 em  $\text{pH} < 2$ . O método utilizado foi de combustão em espectrofotômetro de infravermelho, conforme descrito APHA (1995), realizado no equipamento de TOC.

Este parâmetro foi realizado no laboratório de Saneamento da EESC-USP.

#### 4.3.5. Cálcio e Magnésio

As amostras foram digeridas por processo via úmida, utilizando-se porções de 100 ml, e adicionado-se, em cada uma, um volume de ácido nítrico concentrado com aquecimento até redução de volume a aproximadamente 20 ml. A seguir, adicionou-se um volume de ácido clorídrico concentrado e efetuou-se um aquecimento até redução de volume em aproximadamente 20 ml. Posteriormente avolumou-se para 100 ml com água deionizada. A partir destas alíquotas, as amostras foram diluídas em oxido de lantânio.

O método utilizado para as determinações de cálcio e magnésio foi o espectrofotométrico de absorção atômica por chama, com aspiração direta das alíquotas diluídas no equipamento usando chama de ar-acetileno, conforme descrito

pelo APHA (1980). O equipamento utilizado foi um espectrofotômetro da marca Perkin Helmer, modelo A Analyst 100.

#### **4.3.6. Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Níquel e Zinco.**

As amostras de líquidos percolados foram digeridas por processo via úmida, utilizando-se porções de 100 ml, adicionado-se, em cada uma, um volume de ácido nítrico concentrado, com aquecimento até redução de volume a aproximadamente 20 ml. A seguir, adicionou-se um volume de ácido clorídrico concentrado e efetuou-se um aquecimento até redução de volume em aproximadamente 20 ml. Posteriormente avolumou-se para 100 ml com água deionizada.

Para estes íons metálicos, foi utilizado o método de espectrofotometria de absorção atômica de chama com ar-acetileno. As amostras foram aspiradas diretamente para o equipamento. O equipamento usado foi um espectrofotômetro da marca Perkin Helmer, modelo A Analyst 100. Este método está descrito pelo APHA (1980).

#### **4.3.7. Cianeto**

As amostras foram previamente acidificadas com ácido sulfúrico na proporção 1:2 e posteriormente destiladas.

Utilizou-se o método da Pirazolona - Piridina, que é colorimétrico, com um comprimento de onda de 612 nm da faixa visível do espectro. O equipamento utilizado foi da marca Hach, modelo DR 2000. O procedimento está descrito no *Handbook DR2000 USEPA* (1995).

#### 4.3.8. Cloretos

As amostras foram coaguladas com suspensão de hidróxido de alumínio e, a seguir, diluídas e filtradas em papel de filtro qualitativo. Ao filtrado adicionou-se 1 ml de água oxigenada 10% v/v e aqueceu-se em chama por alguns minutos. Este procedimento visa a eliminação da interferência de sulfetos na análise.

As determinações de cloretos nos líquidos percolados, assim previamente tratados, foram efetuadas através do método de Argentometria, com o uso de nitrato de prata como titulante, conforme descrito pelo Manual de análises físico-químicas da CETESB (1997).

#### 4.3.9. Condutividade

As leituras de condutividade foram realizadas nas amostras dos líquidos percolados "in natura", utilizando-se o método da condutividade elétrica, em mili MHO/cm, conforme descrito pelo Standard Methods APHA (1980). Utilizou-se um aparelho da marca Analiser, modelo 650.

#### 4.3.10. Cor aparente

As leituras de cor aparente foram efetuadas nas amostras diluídas com água destilada e deionizada.

O método utilizado foi colorimétrico, usando-se leitura direta em espectrofotômetro em comprimento de onda em 420nm. O equipamento utilizado foi um espectrofotômetro da marca Hach, modelo DR2000. O método está descrito no *Handbook* DR2000, USEPA (1995).

#### 4.3.11. Cromo hexavalente

As amostras foram digeridas por processo via úmida, utilizando-se porções de 100 ml, adicionando-se, em cada uma, um volume de ácido nítrico concentrado com aquecimento até redução do volume para aproximadamente 20 ml. A seguir, adicionou-se um volume de ácido clorídrico concentrado e efetuou-se um aquecimento até novamente a redução do volume para aproximadamente 20 ml. Posteriormente avolumou-se para 100 ml com água deionizada. A partir das alíquotas preparadas, efetuou-se as determinações.

Foi utilizado o método 1,5-Difenilcarbohidrazina a vácuo, com espectrofotômetro visível, em comprimento de onda em 540nm. O equipamento utilizado foi um espectrofotômetro da marca Hach, modelo DR2000. O método utilizado está descrito pelo *Handbook* DR2000 (USEPA 1995).

#### 4.3.12. Demanda Bioquímica de Oxigênio

As amostras foram diluídas com água deionizada, conforme a expectativa de resultados estimada a partir dos valores obtidos de DQO.

O método empregado para determinação de DBO foi manométrico, com adição de semente e nutrientes. Este método utiliza uma quantidade maior de alíquotas que possibilita melhores resultados para altos teores de DBO. O equipamento utilizado foi da marca Hach, modelo BOD-2173B, com 6 garrafas. Este método está descrito pelo *Handbook* Hach (USEPA 1995).

#### 4.3.13. Densidade

Foi utilizado o método de imersão de densímetro de vidro com ajuste de temperatura em 20°C, conforme descrito pelo APHA (1980).

#### 4.3.14. Demanda Química de Oxigênio

As amostras foram digeridas com refluxo em tubo fechado por uma solução combinada de sulfato de mercúrio, dicromato de potássio e ácido sulfúrico com uma solução de sulfato de prata e ácido sulfúrico, a 150°C, por 2 horas. A seguir foram resfriadas e efetuou-se as leituras espectrofotométricas em 620 nm.

O equipamento que foi usado é da marca Hach, modelo DR2000, conforme descrito pelo APHA (1980).

#### 4.3.15. Dureza total

As amostras foram previamente diluídas com água destilada. O método utilizado foi o titulométrico do EDTA (ácido etileno diamino tetra acético), usando o negro de eriocromo T como indicador em solução tampão de amônia a pH 10, conforme descrito pelo APHA (1980).

#### 4.3.16. Fenóis

As amostras foram alcalinizadas a pH 7,9 e a seguir, destiladas em aparelho de vidro.

Para a determinação do índice fenóis, foi utilizado o método de extração com clorofórmio em presença da substância 4-aminoantipiridina, seguidas de leitura colorimétrica em comprimento de onda em 460nm, o espectrofotômetro usado foi da marca Hach, modelo DR2000. Este método está descrito pelo APHA (1980).

#### 4.3.17. Fluoreto

As amostras foram previamente aciduladas, seguidas de destilação em aparelho de vidro.

Foi utilizado o método Spands, que consiste na adição do reagente Spands e leitura colorimétrica em comprimento de onda 580nm. O espectrofotômetro utilizado foi da marca Hach, modelo DR2000, conforme descrito pelo APHA (1980).

#### **4.3.18. Fósforo total**

As amostras passaram por uma digestão via seca, sendo um volume de 100 ml de amostra evaporado em banho-maria. A seguir calcinou-se o resíduo da evaporação a 550°C, por 1 hora, resfriou-se e acidificou-se o resíduo com HCl 1:1, seguido de raspagem e lavagem com água destilada até completar o volume de 100 ml de digerido.

A partir desta amostra digerida determinou-se fósforo total pelo o método Vanadato molibdato de amônia, seguido de leitura colorimétrica em comprimento de onda em 420 nm. O espectrofotômetro utilizado foi da marca Varian, modelo UV visível 1E Cary, conforme descrito pelas *Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz* (1985).

#### **4.3.19. Nitrogênio albuminóide e Nitrogênio amoniacal**

As amostras foram previamente diluídas e destiladas em aparelho de vidro.

Foi utilizado o método de Nessler, sendo as leituras colorimétricas realizadas em espectrofotômetro em comprimento de onda 425 nm. O equipamento utilizado foi da marca Hach, modelo DR2000. Este método está descrito pelas *Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz* (1985).

#### **4.3.20. Nitrogênio Total de Kjeldahl**

Foi utilizado o método macro Kjeldahl, com digestão prévia das amostras em presença de sulfato de cobre, sulfato de potássio e ácido sulfúrico concentrado,

seguidas de destilação e recolhidas em solução de ácido bórico com indicador misto, sendo posteriormente o destilado titulado com solução de ácido sulfúrico padronizada. Este método está descrito pelo APHA (1980).

#### **4.3.21. Nitrato**

Foi utilizado o método espectrofotométrico, utilizando-se a região ultravioleta do espectro. As amostras foram coaguladas com suspensão de hidróxido de alumínio, diluídas e filtradas em papel de filtro qualitativo. As leituras foram feitas em comprimento de onda em 220nm e 275nm para eliminar interferência de matéria orgânica. O equipamento usado foi um espectrofotômetro da marca Varian, modelo Cary 1E. Este método está descrito pelo APHA (1995).

#### **4.3.22. Nitrito**

Foi utilizado o método da Sulfanilamida e N-(1-Naftil) Etilenodiamina. As amostras foram coaguladas com suspensão de hidróxido de alumínio, diluídas e filtradas em papel de filtro qualitativo. As leituras foram feitas em comprimento de onda em 520nm. O equipamento utilizado foi um espectrofotômetro da marca Hach, modelo DR2000. Este método está descrito pelo APHA(1980).

#### **4.3.23. Nitrogênio total**

Foi considerada a soma dos valores obtidos para o nitrogênio total de Kjeldahl, nitrato e nitrito.

#### 4.3.24. Oxigênio consumido

Este parâmetro também é conhecido como matéria orgânica, sendo utilizado para baixos teores de concentração de matéria orgânica.

O método é titulométrico com o uso de permanganato de potássio e redução com oxalato de sódio 0,0125N. As amostras foram previamente diluídas e acidificadas com ácido sulfúrico diluído 1:3, e a seguir digeridas por imersão em banho de água a 80°C, durante 30 minutos. O método utilizado está descrito pelas *Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz*, (1985).

#### 4.3.25. pH

Foi utilizado o método eletrométrico, utilizando eletrodo de vidro calomelano, acoplado a um equipamento digital da marca Analion, modelo PM600, conforme APHA (1989).

#### 4.3.26. Potássio e Sódio

Foi realizado pelo método de espectrofotometria de emissão de chama. As amostras foram previamente digeridas via seca. O equipamento utilizado foi da marca Halstead Essex, modelo Evans Espectro Selenium. O método está descrito pelo APHA (1989).

#### 4.3.27. Sólido totais, fixos e voláteis

O método utilizado foi gravimétrico, sendo as amostras processadas “in natura”. Os equipamentos utilizados foram uma balança analítica, marca Ohaus, modelo Analytical Standard AS 200 e um banho-maria, uma estufa com temperatura

controlada em 100°C e uma mufla com temperatura controlada em 550°C. Este método está descrito pela CETESB (1977).

#### **4.3.28. Sólidos sedimentáveis**

As análises foram efetuadas em amostras “in natura”, após uma homogeneização, dispendo-as em um cone Imhoff de 1000 ml de capacidade, conforme metodologia descrita pela CETESB (1977).

#### **4.3.29. Substâncias solúveis em hexano**

Foi utilizado o método gravimétrico com extração por solvente. As amostras foram acidificadas e processadas “in natura”. Os equipamentos usados foram uma balança analítica, uma estufa secadora, uma bomba de vácuo, um sistema de filtração, um extrator tipo Soxhlet . O método está descrito pelo *Standard Methods*, (APHA,1989).

#### **4.3.30. Sulfato**

Foi utilizado o método turbidimétrico, com a precipitação do íon sulfato em meio ácido através da adição de cloreto de bário. As amostras foram diluídas e tratadas com carvão ativado, seguidas de filtração. As leituras foram efetuadas em espectrofotômetro no campo visível em comprimento de onda em 420nm. O equipamento usado foi um espectrofotômetro da marca Hach, modelo DR2000. O método está descrito pelo *Standard Methods*, (APHA,1989).

#### 4.3.31. Sulfito

Foi utilizado o método de titulação por Iodeto – Iodato de Potássio, sendo as amostras foram previamente diluídas. Este método está descrito conforme VOGEL (1992).

#### 4.3.32. Surfactantes

Foi utilizado o método cristal violeta, onde as amostras foram processadas “in natura”, as leituras colorimétricas foram efetuadas em espectrofotômetro utilizando a região do visível em comprimento de onda de 605nm. O espectrofotômetro utilizado foi da marca Hach, modelo DR2000. Este método está descrito conforme Manual HACH (1995).

#### 4.3.33. Turbidez

Foi utilizado o método Nefelométrico em equipamento da marca Polilab, modelo AP-1000, onde as amostras foram previamente diluídas Este método está descrito conforme *Standard Methods*, (APHA, 1989).

## 5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

São apresentados os resultados analíticos obtidos das determinações efetuadas nas amostras de líquidos percolados dos dois objetos de estudo.

Na área do lixão de Serrana, foram utilizados somente 10 poços, completados no lixo, dispostos de forma linear no terreno, num sentido de numeração crescente de norte para o sul, nomeados P7; P8; P9; P12; P13; P14 e P15, na cava maior, e P21; P22 e P23, na cava menor, conforme mostra a Figura 12.

Os resultados obtidos no aterro de Dumont, são referentes a uma coleta com análises feitas em triplicatas e as médias obtidas são apresentadas nas tabelas a seguir, juntamente com os resultados do lixão de Serrana

As variáveis analisadas foram agrupadas por parâmetros afins e dispostas em tabelas.

O agrupamento destes parâmetros foram estabelecidos em:

- Potenciométricos: pH e condutividade;
- Exames físicos: densidade, cor aparente, sólidos sedimentáveis, sólidos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis, turbidez;
- Constituintes inorgânicos não metálicos: alcalinidade de bicarbonato, boro, cálcio, cianeto, cloretos, dureza total, fluoretos, fósforo total, magnésio, nitrato, nitrito, nitrogênio albuminóide, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total de Kjeldahl, potássio, sódio, sulfato, sulfito;
- Constituintes orgânicos: carbono orgânico total, DBO, DQO, fenóis, oxigênio consumido, substâncias solúveis em hexano, surfactantes;
- Metais: alumínio, chumbo, cobalto, cobre, cromo total, cromo hexavalente, ferro, manganês, níquel, zinco.

TABELA 5.1 – Resultados potenciométricos

Parâmetro	Unidade	Pontos de Amostragem										
		P7	P8	P9	P12	P13	P14	P15	P21	P22	P23	Dumont
pH	adimensional	6,90	6,97	6,65	7,00	7,16	7,52	7,90	7,54	6,52	6,80	7,91
Condutividade	Mili MHO/cm	3,2	1,29	1,29	2,0	3,5	8,5	15,2	15,16	1,37	1,74	9,06

TABELA 5.2 – Resultados de exames físicos

Parâmetro	Unidade	Pontos de Amostragem										
		P7	P8	P9	P12	P13	P14	P15	P21	P22	P23	Dumont
Densidade	g/cm <sup>3</sup>	nd	0,980	1,00	0,980	0,980	1,002	1,008	1,006	1,00	1,00	1,005
Cor aparente	unid. PtCo	4480	2130	1400	2060	2100	2660	4430	1320	133	194	3330
Sólidos sedimentáveis	ml/l	0,20	3,00	1,50	1,50	0,70	0,50	<0,1	0,10	12	1,10	1,10
Sólidos totais	mg/l	1561	1069	795	1271	2128	4462	9447	10438	1952	1064	8190
Sólidos fixos	mg/l	1058	892	666	1067	1709	3433	7329	6426	1243	573	6123
Sólidos voláteis	mg/l	503	177	129	204	419	1029	2118	4012	709	491	2067
Turbidez	NTU	19	5	12	55	32	18	12	250	600	400	170

TABELA 5.3 – Resultados dos constituintes inorgânicos não metálicos

Pontos de amostragem

Parâmetros	Unidade	P7	P8	P9	P12	P13	P14	P15	P2	P22	P23	Dumont
Alcalin. bicarbonato	mg CaCO <sub>3</sub> /l	1416	1282	1479	1775	2465	2493	9367	803	870	978	4630
Boro	mg B/l	0,653	0,012	0,032	0,007	0,020	0,119	0,300	0,96	0,579	1,240	1,57
Cálcio	mg Ca/l	340	98	89	118	119	53	37	12	142	137	161
Cianeto	mg CN/l	0,044	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,008	<0,001	<0,001	<0,001	0,011
Cloretos	mg Cl/l	260	215	232	322	483	1435	3350	290	450	200	2643
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	378	530	469	540	763	367	367	19	221	195	735
Fluoretos	mg F /l	0,64	0,35	0,40	0,53	0,51	3,20	4,50	<0,	<0,1	0,08	1,55
Fósforo total	mg P/l	8,00	7,40	4,90	1,61	2,30	4,00	13,40	4,4	1,17	1,44	7,98
Magnésio	mg Mg/l	31	30	19	23	33	42	39	91	26	27	128
Nitrato	mg NO <sub>3</sub> /l	11,2	7,1	6,8	7,2	10,4	26,5	81,8	16	21,3	31,7	68,87
Nitrito	mg NO <sub>2</sub> /l	0,22	0,04	0,07	0,02	0,03	0,02	0,06	3,0	5,00	1,50	3,70
Nitrog. albuminoide	mg N-NH <sub>3</sub> /l	0,60	0,46	0,86	0,60	0,96	3,90	4,80	0,9	0,60	0,70	4,80
Nitrog. amoniacal	mg N-NH <sub>3</sub> /l	3,3	10,0	12,0	14,0	22,0	80,0	160,0	16,0	3,7	11,6	97,0
Nitrog. Total Kjeldahl	mg N-NH <sub>3</sub> /l	195	111	94	28	39	28	100	185	155	247	1200
Nitrogênio Total	mg N/l	206,42	118,14	100,87	35,22	49,43	54,52	181,86	190,0	181,30	280,00	1272,6
Potássio	mg K/l	143	103	92	92	246	697	1435	19	74	68	1150
Sódio	mg Na/l	137	77	69	123	207	551	1377	18	73	51	969
Sulfato	mg SO <sub>4</sub> /l	76	66	65	54	58	80	145	66	273	62	448
Sulfito	mg SO <sub>3</sub> /l	40	50	40	70	80	110	190	20	10	20	20

TABELA 5.4 - Resultados dos constituintes orgânicos

Parâmetros	Unidade	Pontos de Amostragem										
		P7	P8	P9	P12	P13	P14	P15	P21	P22	P23	Dumont
TOC	mg/l	97	12	4,3	51	5	47	143	41	3	37	772
DBO	mg/l	76	33	61	55	140	210	620	940	60	50	400
DQO	mg/l	260	91	119	182	455	1368	3640	5200	480	215	2220
Fenóis	mg/l	0,015	0,006	0,006	0,026	0,074	0,045	0,097	0,049	0,038	0,051	0,014
Oxigênio consumido	mg O <sub>2</sub> /l	76	73	52	84	61	87	136	290	26	51	578
Subst. sol. Hexano	mg/l	28	<1	1	1	1	2	<1	362	155	135	155
Surfactantes	mg/l	0,07	0,02	0,04	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,08

TABELA 5.5 - Resultados Metais

Parâmetros	Unidade	Pontos de Amostragem										
		P7	P8	P9	P12	P13	P14	P15	P21	P22	P23	Dumont
Alumínio	mg Al/l	0,054	0,050	0,130	0,230	0,210	0,110	<0,001	0,025	1,900	0,320	<0,001
Chumbo	mg Pb/l	1,65	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,218	0,08	0,03	0,02	0,079
Cobalto	mg Co/l	2,106	0,117	0,085	0,006	0,013	0,143	0,242	0,19	0,050	0,050	0,150
Cobre	mg Cu/l	0,507	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,042	0,090	0,130	0,090	0,040	0,160
Cromo total	mg Cr/l	1,824	0,037	0,025	0,039	0,042	0,137	0,287	0,565	0,047	0,050	0,152
Cromo hexavalente	mgCr <sup>6+</sup> /l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,10	0,06	<0,01	<0,01	0,01
Ferro	mg Fe/l	4,291	6,717	8,828	10,6	12,9	5,80	6,10	60,9	65,8	125,3	14
Manganês	mg Mn/l	0,797	0,668	0,247	0,801	1,375	0,094	0,122	0,530	0,720	0,670	0,510
Níquel	mg Ni/l	2,681	0,054	0,041	0,056	0,116	0,215	0,505	0,340	0,060	0,030	0,242
Zinco	mg Zn/l	1,950	<0,001	<0,001	0,005	0,005	0,283	0,280	3,490	0,770	5,970	0,743

## 6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nos resultados obtidos através das análises químicas de 45 parâmetros, realizados em 10 poços de monitoramento, todos localizados no lixão de Serrana, pode-se verificar a existência de uma diferença significativa nos valores de concentração destes parâmetros. Esta diferença está relacionada com o tipo de solo do local.

Conforme citado no trabalho realizado pelo CENPES-CEGEQ e colaboradores, o solo no terreno do lixão de Serrana possui uma formação cenozóica ou rochosa nas extremidades da cava maior e uma formação arenosa na parte central do terreno, exatamente onde ocorre o afloramento da Formação Botucatu Pirambóia, zona de recarga do lençol freático.

Faz-se necessário, ainda, considerar que o terreno foi escavado para retirada do solo (comercializado), ficando assim o arenito Botucatu totalmente exposto no centro da cava maior e na extremidade norte da cava menor, conforme é mostrado na Figura 12.

Na maioria dos resultados observou-se valores de concentração mais elevados nos líquidos coletados nos poços que estão localizados nestas extremidades (P7, P15 e P21) e valores de menor concentração nos poços localizados sobre o solo arenoso (P12, P13 e P23). Os demais poços apresentam valores intermediários.

Tal fato deve-se ao processo de diluição deste líquidos pela percolação das águas de chuva. Este processo é favorecido em solo arenoso, por ser mais permeável e, também, devido a decomposição da matéria orgânica que produz um líquido denominado "chorume" e que se mistura com as águas de chuva, sendo arrastados para o fundo do solo num processo de diluição, percolação e filtração.

Outro fator que provavelmente tenha favorecido este processo de diluição dos líquidos percolados foi que, quando as atividades do lixão foram encerradas, não

houve uma cobertura com terra compactada que provocasse uma declividade no terreno proporcionando o escoamento ou drenagem das águas pluviais.

A Figura 12 ilustra este processo de diluição no terreno do lixão de Serrana.

Os resultados dos parâmetros analisados referentes aos líquidos percolados dos poços do lixão de Serrana e do chorume da caixa de acúmulo do aterro de Dumont serão discutidos e apresentados na forma de histogramas.

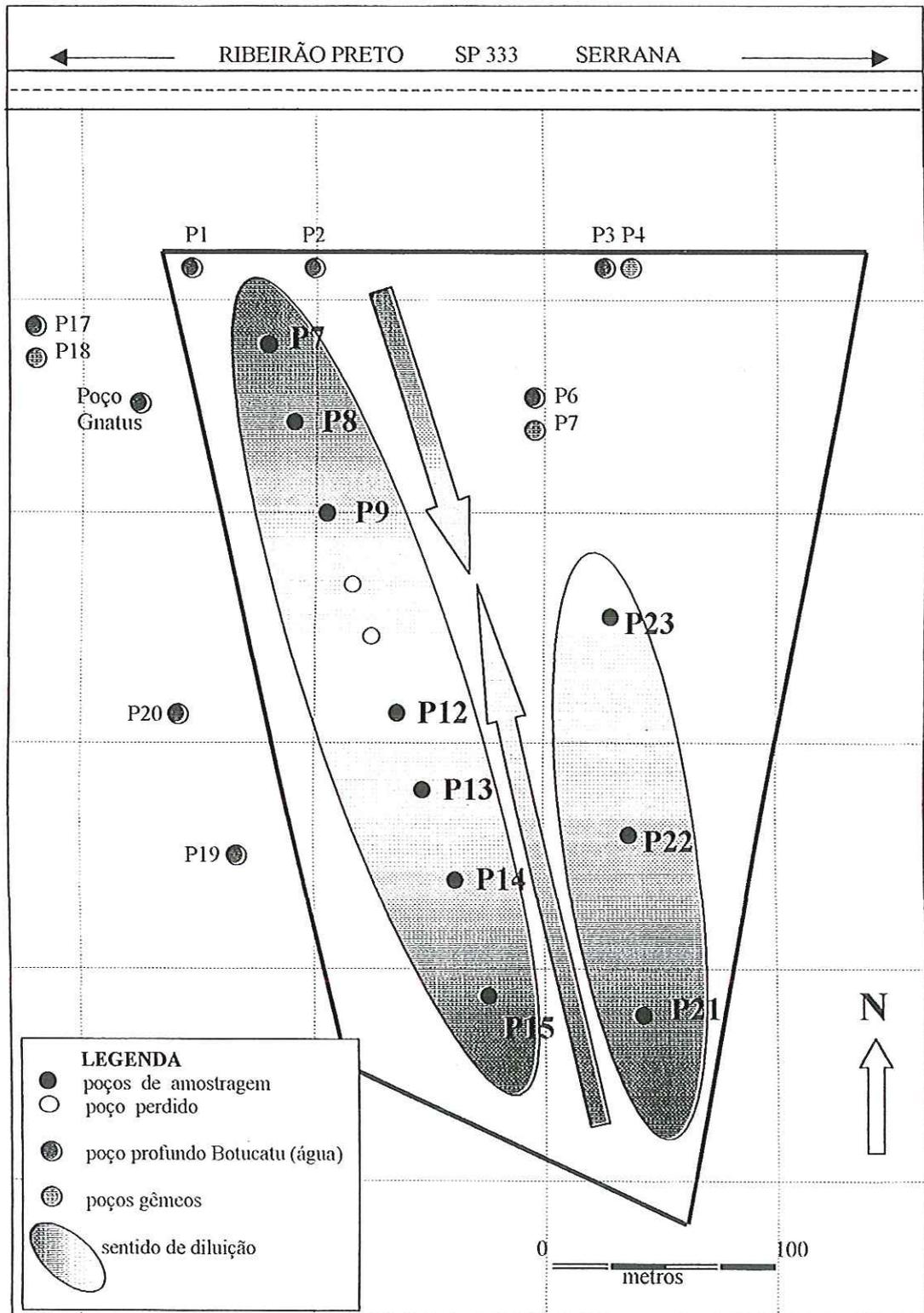


FIGURA 12 – Representação do processo de diluição dos líquidos percolados no lixão de Serrana

### 6.1. Alcalinidade de bicarbonato

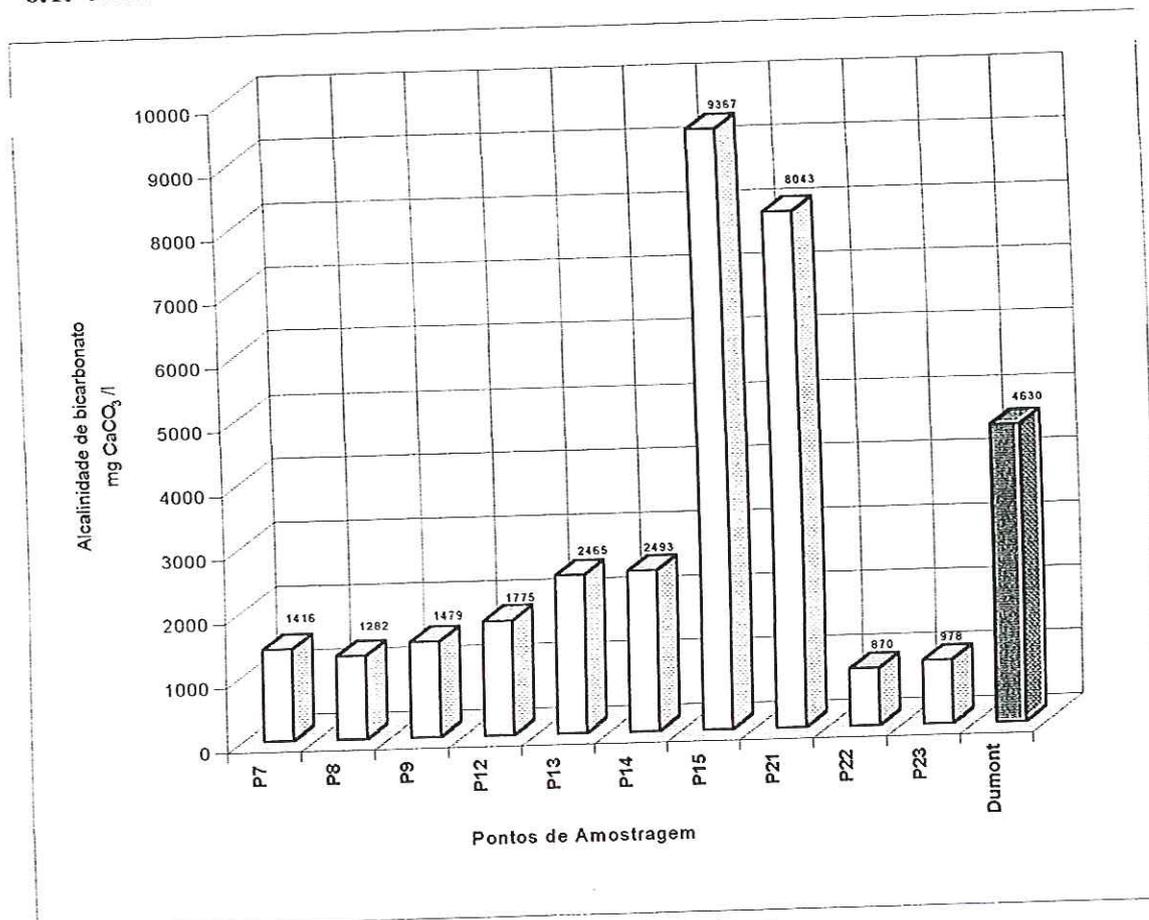


FIGURA 13: Resultados obtidos de alcalinidade de bicarbonato

Pode-se verificar que na maioria dos poços no lixão de Serrana, os valores de concentração de alcalinidade de bicarbonato apresentaram-se entre 870 e 2500 mg/l, com exceção do poço P15 (cava maior) e P21 (cava menor), onde os valores de alcalinidade apresentaram-se elevados, sendo: 8043 e 9367 mg/l respectivamente. Este fato pode ser justificado pela localização destes poços sobre solo pouco permeável, onde os líquidos percolados não sofrem diluição pelas águas pluviais, conforme mostrado na Figura 12.

Comparando-se estes valores obtidos com os do aterro de Dumont, verificou-se que a concentração de alcalinidade de bicarbonato do chorume encontra-se próxima à 4500mg/l, o que mostra que o sistema operacional deste aterro sanitário, dotado de critérios de engenharia, proporciona a composição concentrada destes líquidos.

## 6.2. Alumínio

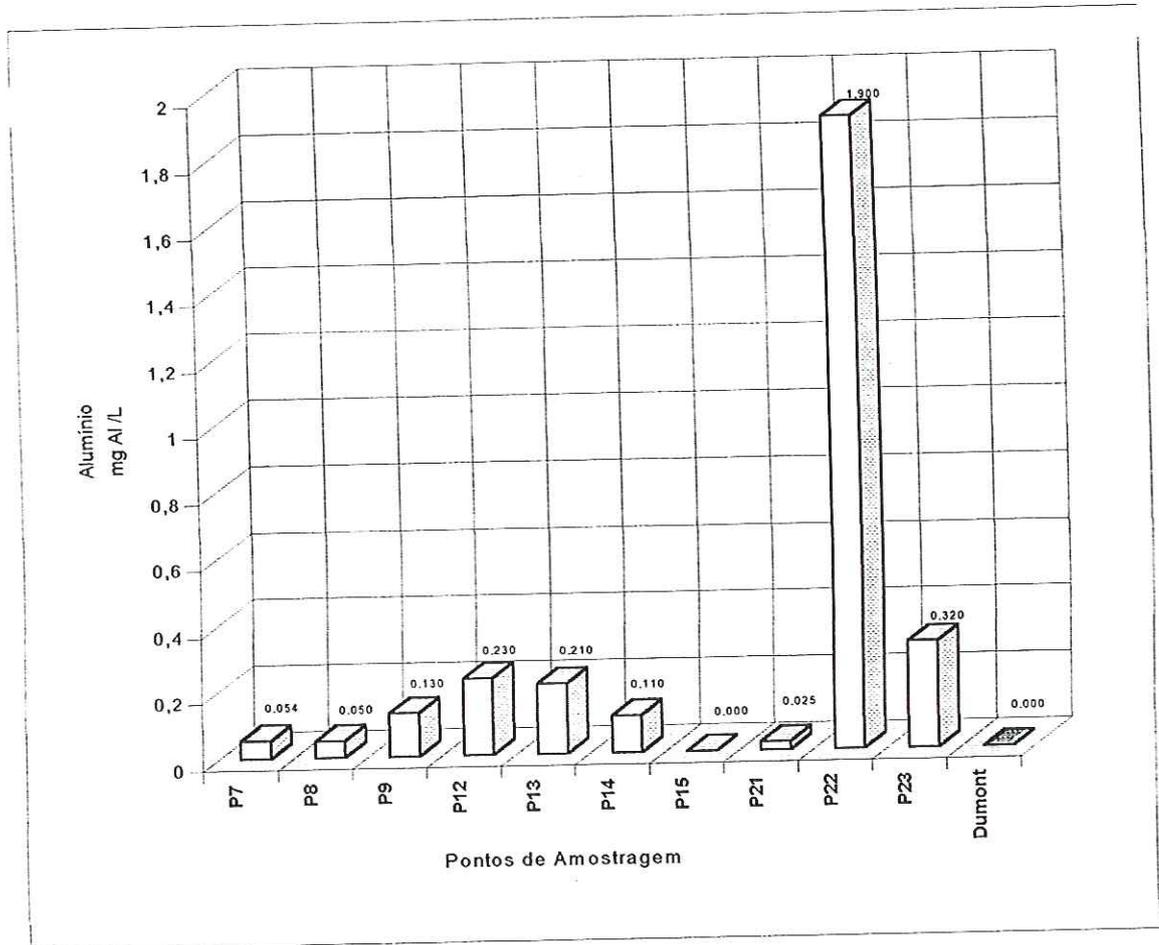


FIGURA 14: Resultados obtidos de alumínio

No lixão de Serrana os valores de concentração de alumínio apresentaram-se entre 0,025 e 0,230 mg/l, exceto no poço P22 (cava menor), onde o valor encontrado foi de 1,900 mg/l, sendo muito elevado em relação aos demais. Fato que pode ser devido a presença de disposição de lixo hospitalar no local.

O valor obtido de concentração de alumínio no chorume do aterro de Dumont, apresentou uma concentração abaixo do limite de detecção do método. Este fato pode ser explicado pela ausência de lixo hospitalar neste aterro.

Portanto, concentrações elevadas de alumínio em líquidos percolados ou chorume, podem ser características de disposição final de lixo hospitalar ou industrial.

### 6.3. Boro

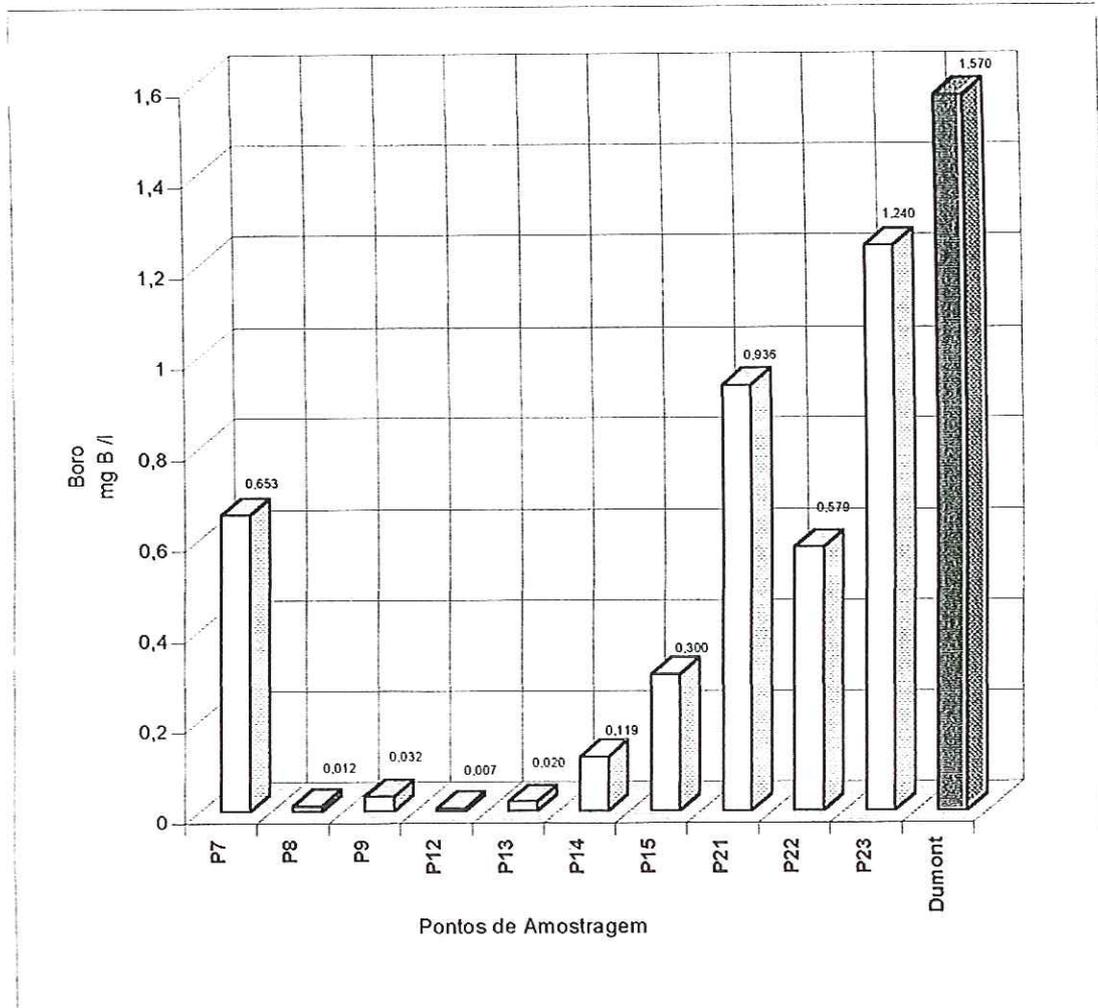


FIGURA 15: Resultados obtidos de boro

No lixão de Serrana, os valores obtidos de boro no líquido percolado dos poços P21, P22, e P23, todos na cava menor, foram 0,936, 0,579, 1,240 mg/L respectivamente. Na cava maior os poços P8, P9, P12, P13 e P14 apresentaram valores abaixo de 0,119 mg/L, fato que pode ser justificado pela característica permeável do solo. Nos poços P7 e P15, onde o solo é pouco permeável, os valores apresentaram-se com 0,653 e 0,300 mg/l respectivamente. O valor obtido de concentração de boro no chorume do aterro de Dumont apresentou-se acima de 1,5 mg/L.

Tal fato pode confirmar que o íon boro é percolado no solo com facilidade por influência de chuvas sobre solo permeável.

#### 6.4. Carbono orgânico total

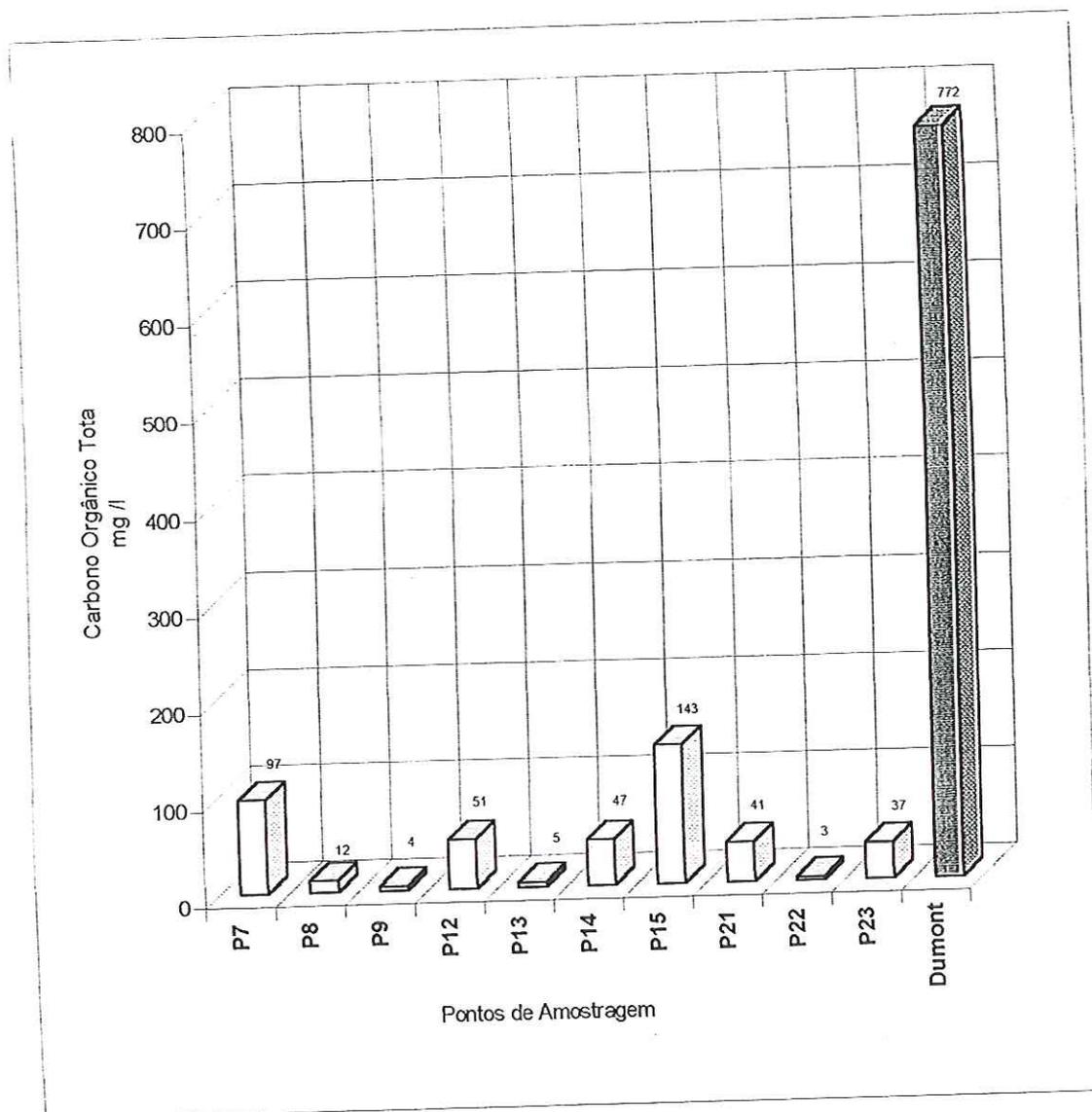


FIGURA 16: Resultados obtidos de carbono orgânico total

No lixão de Serrana, os poços P7 e P15 (cava maior) que estão localizados em solo pouco permeável, os valores obtidos de TOC foram 97 e 143mg/L, respectivamente. Nos demais poços os valores apresentaram-se entre 3 e 51 mg/L.

No chorume do aterro de Dumont, o valor obtido de concentração de carbono orgânico total apresentou-se elevado, acima de 700mg/L. Tal fato pode estar relacionado com a recente idade deste chorume e a recirculação de chorume neste aterro.

## 6.5. Cálcio

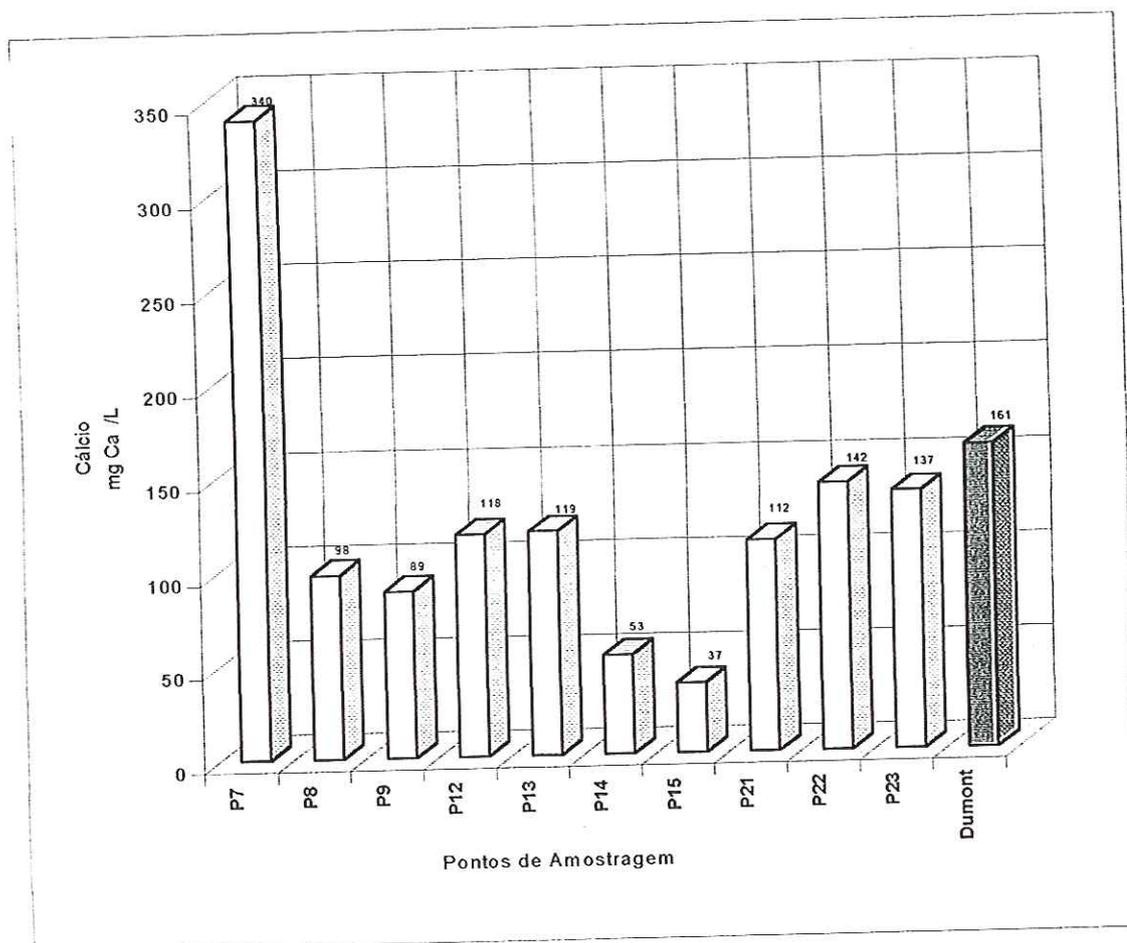


FIGURA 17: Resultados obtidos de cálcio

Os valores obtidos de concentração de cálcio se apresentaram em torno de 37 a 160mg/L em todas as amostras, com exceção do poço P7 (cava maior) do lixão de Serrana que apresentou um valor elevado em relação aos demais, sendo 340 mg/l. Tal fato pode ser devido à disposição de lixo industrial no local e ao tipo de solo pouco permeável.

Observa-se que o íon cálcio não apresentou um comportamento de diluição por diferença de solo, por emprego de sistema operacional de engenharia e por recirculação de chorume, possuindo uma baixa mobilidade de percolação do solo.

### 6.6. Chumbo

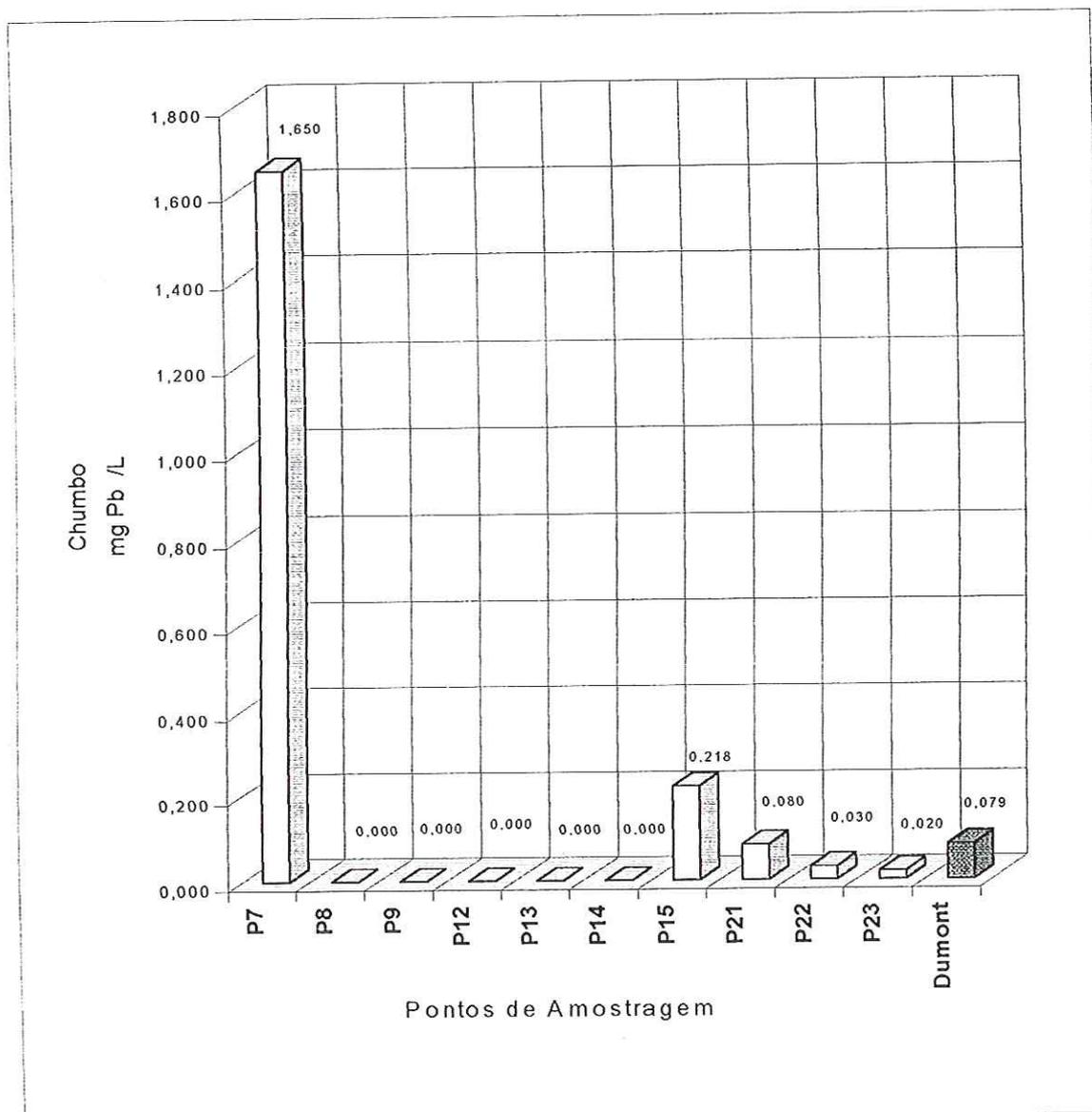


FIGURA 18: Resultados obtidos de chumbo

Os valores de concentração de chumbo obtidos nos poços P8, P9, P12, P13 e P14, todos localizados na cava maior do lixão de Serrana, ficaram abaixo do limite de detecção do método, exceto os poços P7 e P15, que apresentam uma alta concentração, fato que pode estar relacionado com a disposição de lixo industrial no local no período inicial de operação do lixão de Serrana e com o tipo de solo pouco permeável.

### 6.7. Cianeto

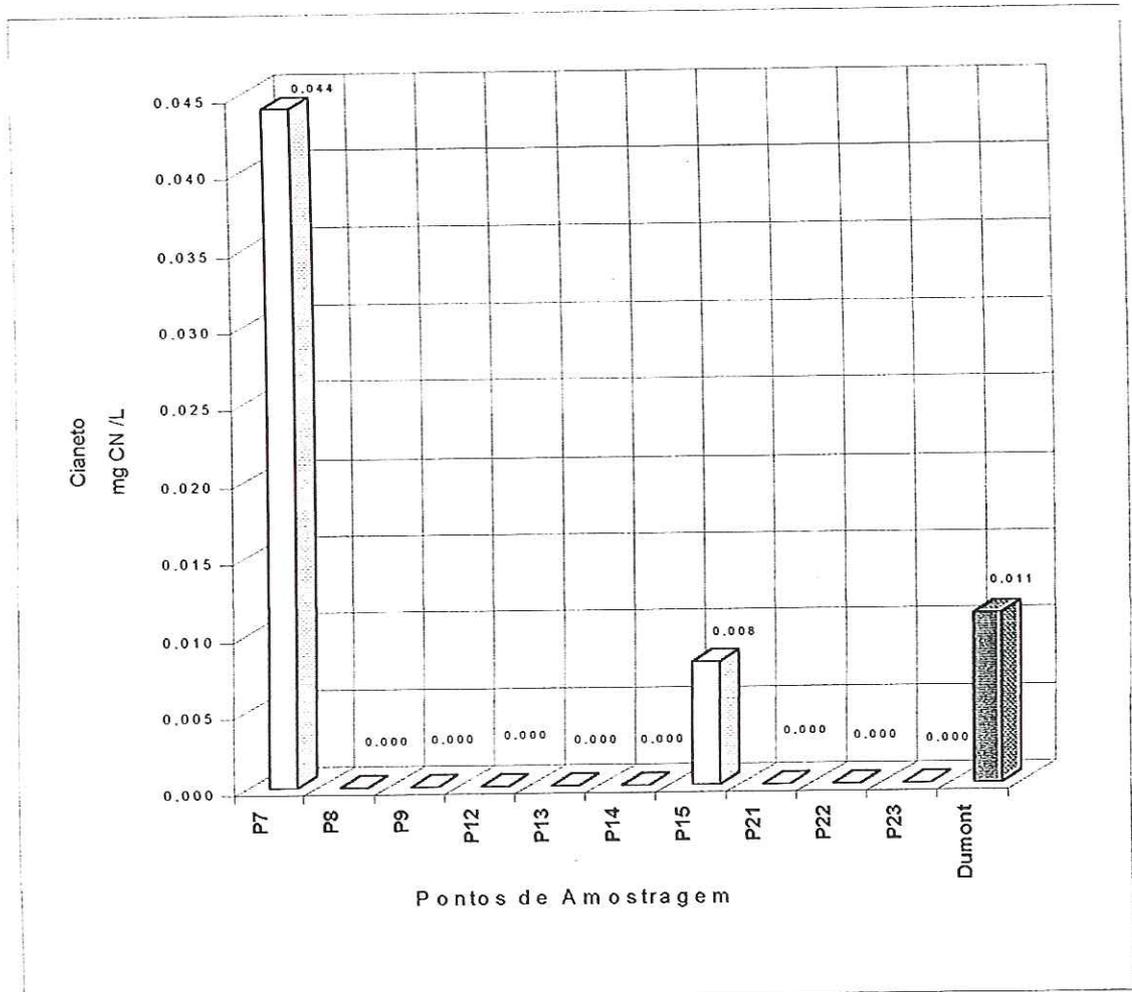


FIGURA 19: Resultados obtidos de cianeto

Os valores obtidos de concentração de cianeto nos poços P8, P9, P12, P13, P14, P21, P22 e P23 se apresentaram abaixo do limite de detecção do método utilizado. O íon somente foi detectado em valores de concentração superiores a 0,001 mg/L em líquido percolado dos poços P7 e P15 ambos localizados em solo pouco permeável e no chorume do aterro de Dumont. Porém, os valores abaixo do limite de detecção podem ser considerados dentro do processo de diluição. Portanto, o íon cianeto possui mobilidade de percolação em diferentes tipos de solo. O valor alto do poço P7 pode, ainda, estar relacionado com a disposição de lixo industrial no local.

## 6.8. Cloretos

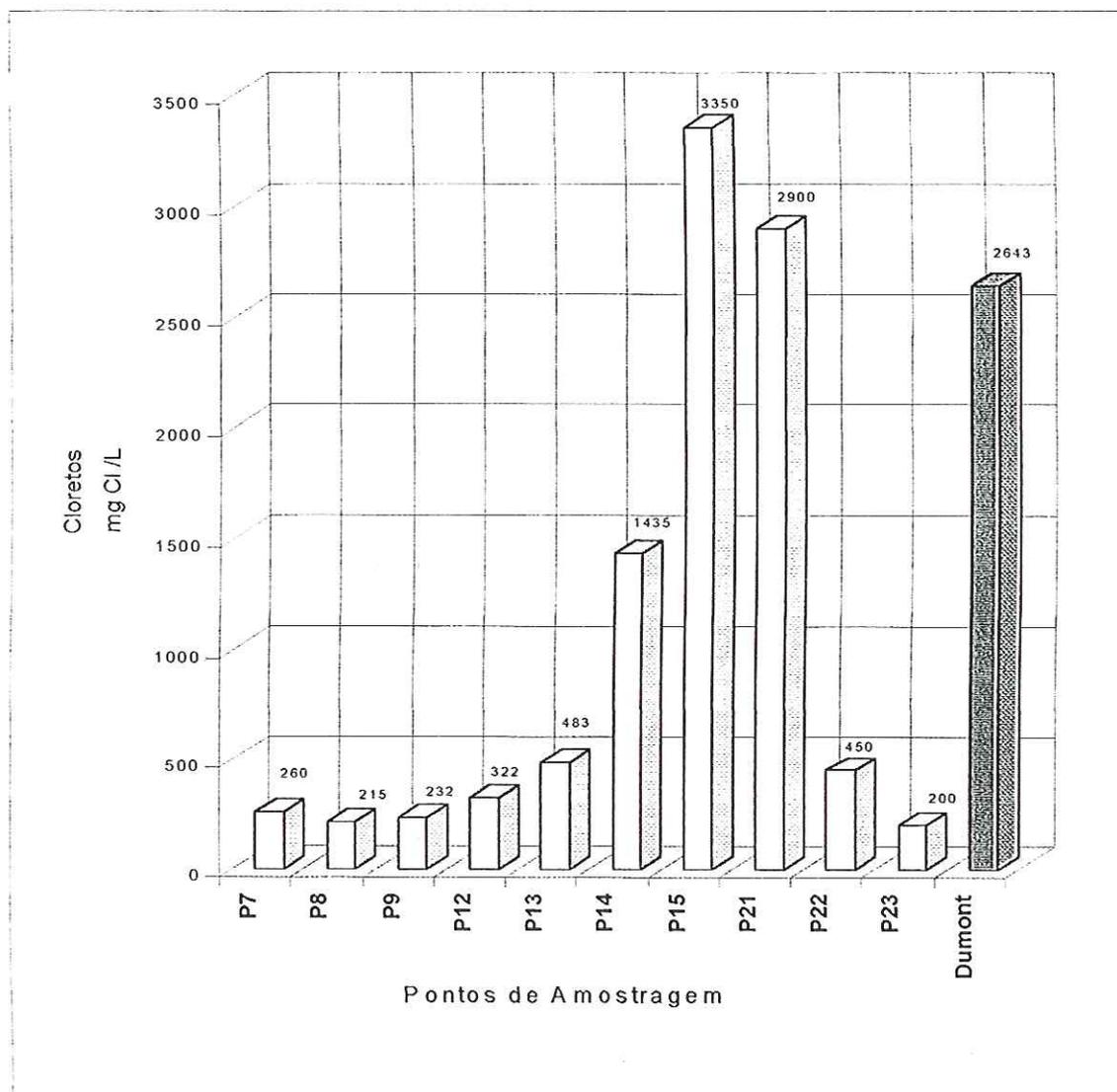


FIGURA 20: Resultados obtidos de cloretos

Os valores obtidos de concentração de cloretos apresentaram-se acima de 1400 mg/L nos líquidos percolados do lixão de Serrana, nos poços localizados em solo pouco permeável P14, P15 e P21. No chorume do Aterro de Dumont, o valor obtido de cloretos apresentou-se com 2643 mg/L. Pelos resultados pode-se verificar que ocorreu uma diluição da concentração nos poços que estão localizados em solo permeável, conforme mostra a Figura 12, e pelos altos valores apresentados, podemos considerar que *cloretos* é um parâmetro característico para determinação de presença de líquidos percolados em águas subterrâneas.

### 6.9. Cobalto

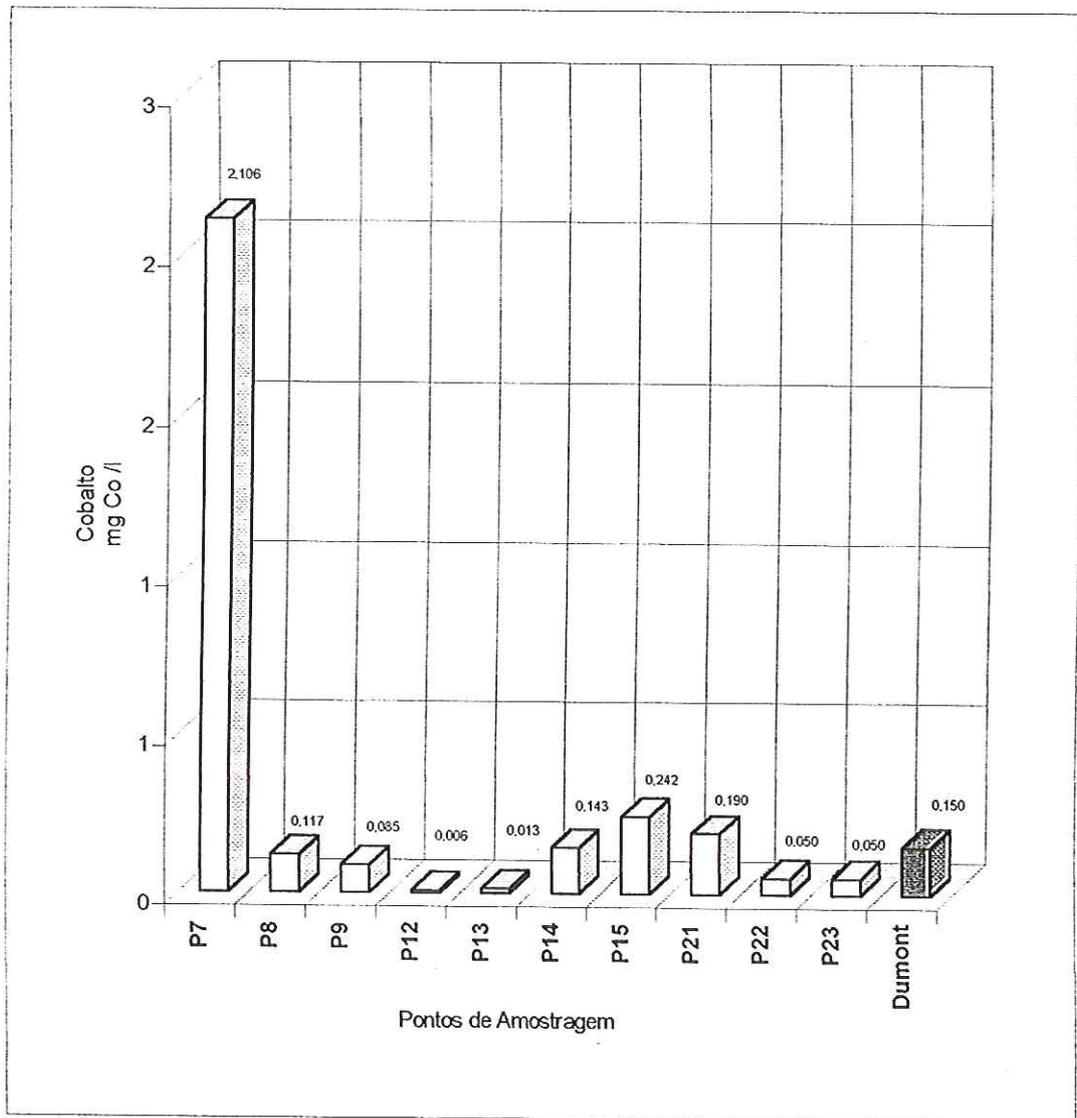


FIGURA 21: Resultados obtidos de cobalto

Os valores obtidos de concentração de cobalto apresentaram-se abaixo de 0,250 mg/L em todos os pontos, sendo mais concentrados nos poços P15, P21 e no chorume do aterro de Dumont, confirmando-se a tendência de diluição por tipo diferente de solo e a mobilidade de percolação do íon cobalto no solo. A exceção foi o poço P7, que apresentou o valor de 2,106 mg/L, sendo considerado elevado em relação aos demais, fato pode ser justificado pela disposição de lixo industrial neste local da cava maior.

### 6.10. Cobre

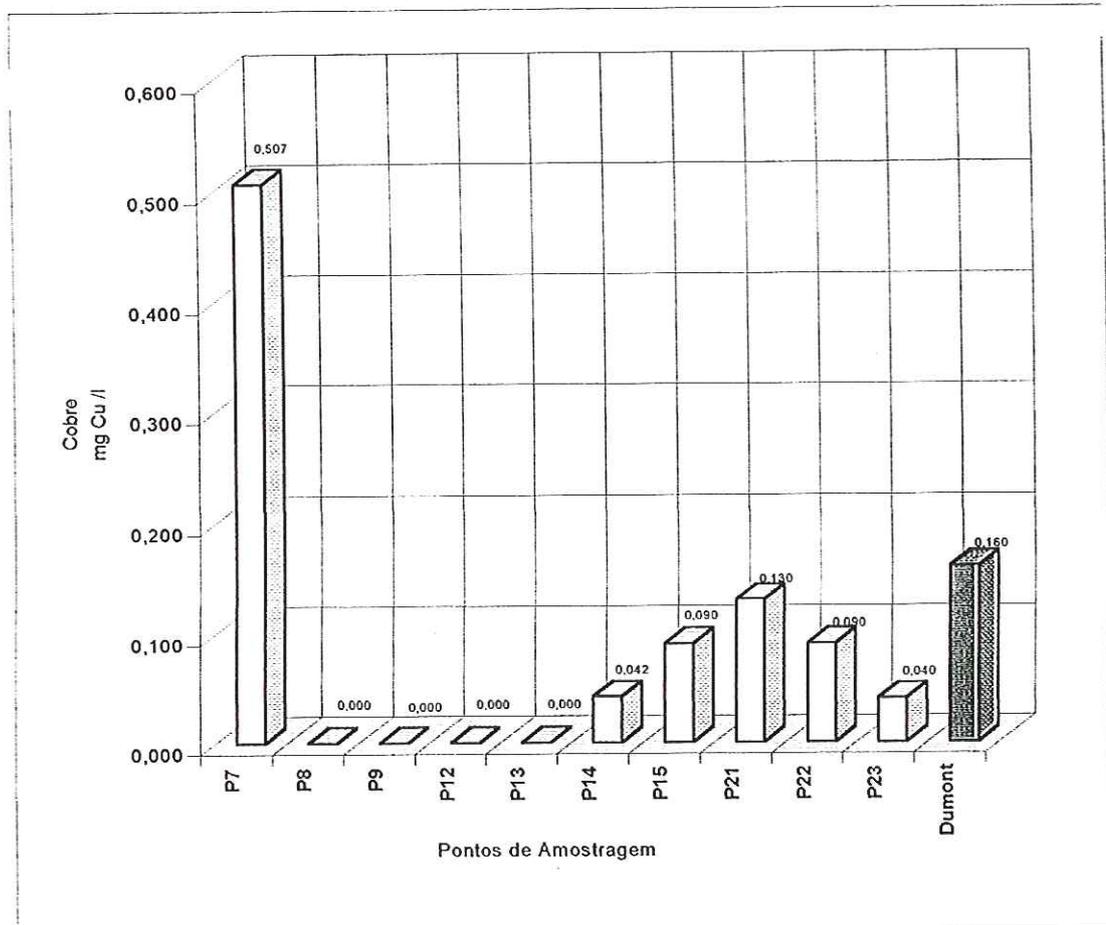


FIGURA 22: Resultados obtidos de cobre

No lixão de Serrana, os valores obtidos de cobre (cava maior) apresentaram-se elevado no poço P7, local onde foi depositado lixo industrial e abaixo do limite de detecção do método utilizado nos poços P8, P9, P12 e P13. Os poços P15 e P14, apresentaram valores de 0,090 e 0,042 mg/L respectivamente. Os valores obtidos nos poços P21, P22 e P23 (cava menor) foram de 0,130, 0,090 e 0,040 mg/L respectivamente. Isso nos leva a observar que os valores de concentração de cobre decrescem do poço P15 para o P14 e do poço P21 para o P23. Este fato é justificado pela percolação e diluição dos líquidos percolados na direção prevista pela Figura 12.

No aterro de Dumont, os valores de concentração de cobre obtido nas amostras de chorume apresentaram-se com média de 0,160 mg/L, próximo ao valor do poço P15, podendo-se considerar que o íon cobre apresenta mobilidade na percolação.

### 6.11. Condutividade

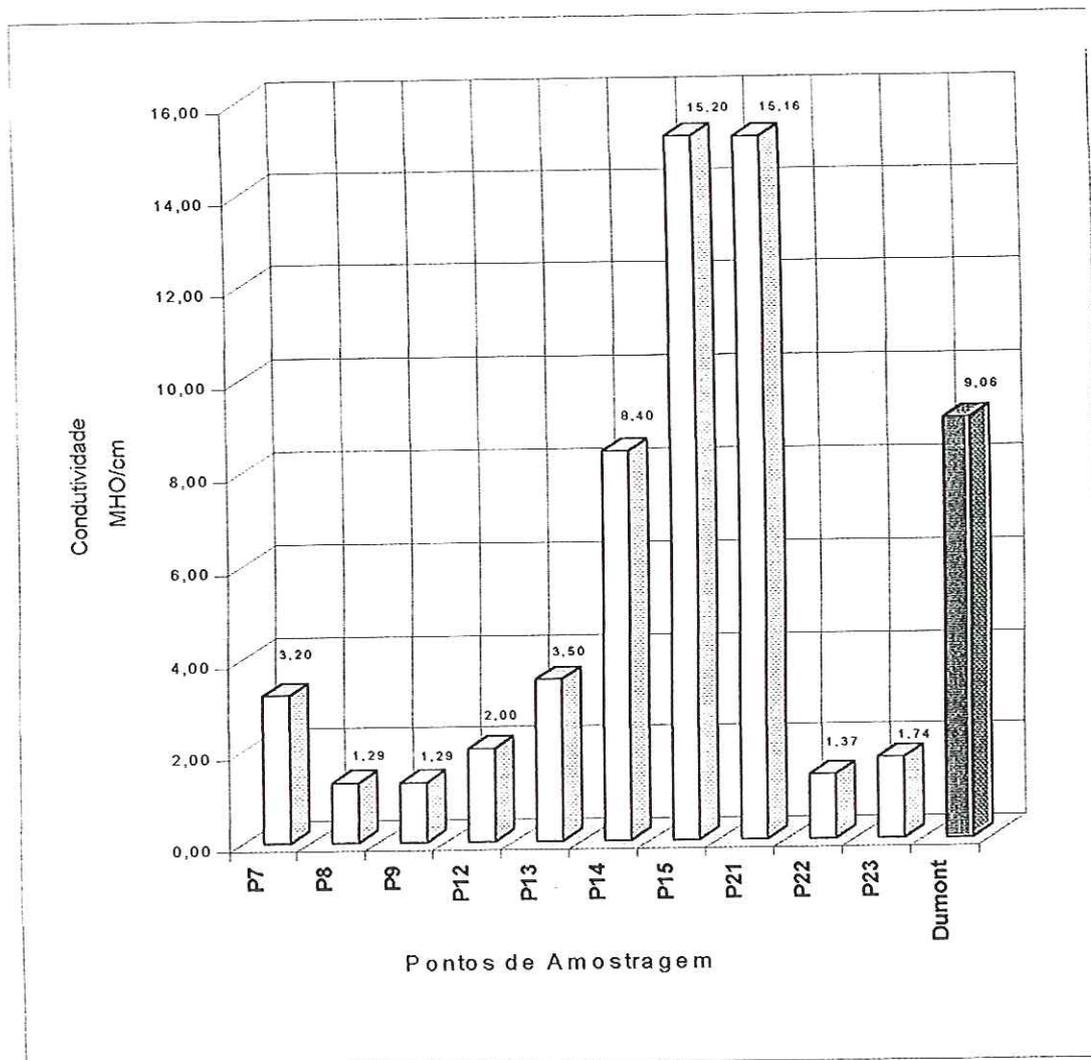


FIGURA 23: Resultados obtidos de condutividade

No lixão de Serrana, os valores obtidos de condutividade apresentaram-se elevados nos pontos onde o solo é pouco permeável (P7, P15 e P21). Os valores diminuem nos pontos onde o solo tem formação arenosa (maior permeabilidade), conforme mostra a Figura 12. No aterro de Dumont, o valor apresentou-se próximo aos valores dos poços localizados em solo pouco permeável.

O método usado para determinação de condutividade é sensível a pequenas variações de concentração, possibilitando o acompanhamento do processo de diluição por diferença de solo, podendo ser considerado um parâmetro para monitoramento de contaminação de águas subterrâneas por líquidos percolados.

### 6.12. Cor aparente

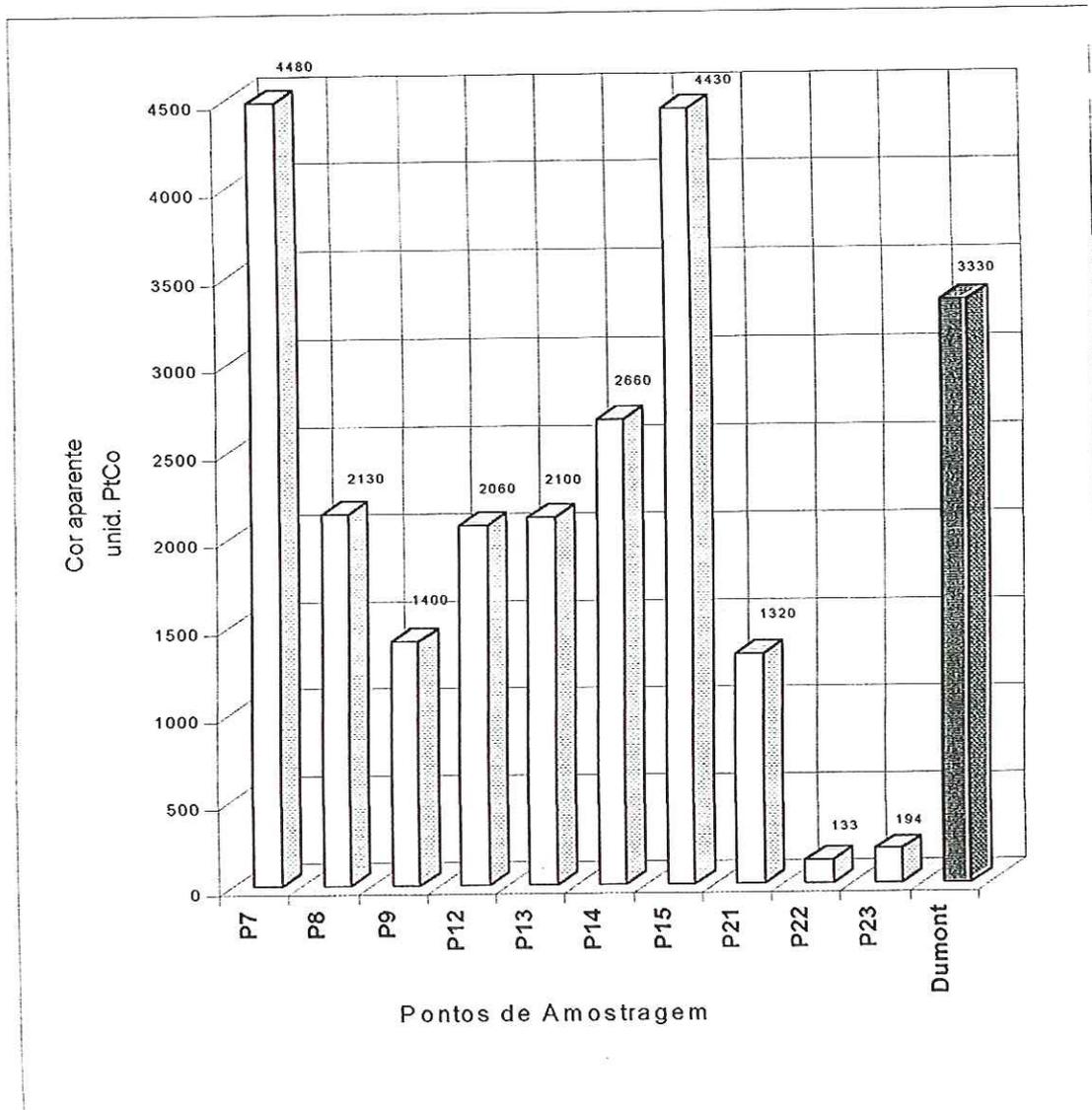


FIGURA 24: Resultados obtidos de cor aparente

No lixão de Serrana, os valores de concentração de cor aparente nos poços P7 e P15 apresentaram-se elevados em relação aos demais, estes poços estão localizados em solo pouco permeável, favorecendo a concentração de cor aparente. O parâmetro apresentou um comportamento de diluição conforme mostra a Figura 12.

O valor obtido de cor aparente no chorume do aterro de Dumont apresentou-se próximo aos valores dos poços P7 e P15, em torno de 3000 unidades de cor. A cor escura é uma característica destes líquidos.

### 6.13. Cromo total

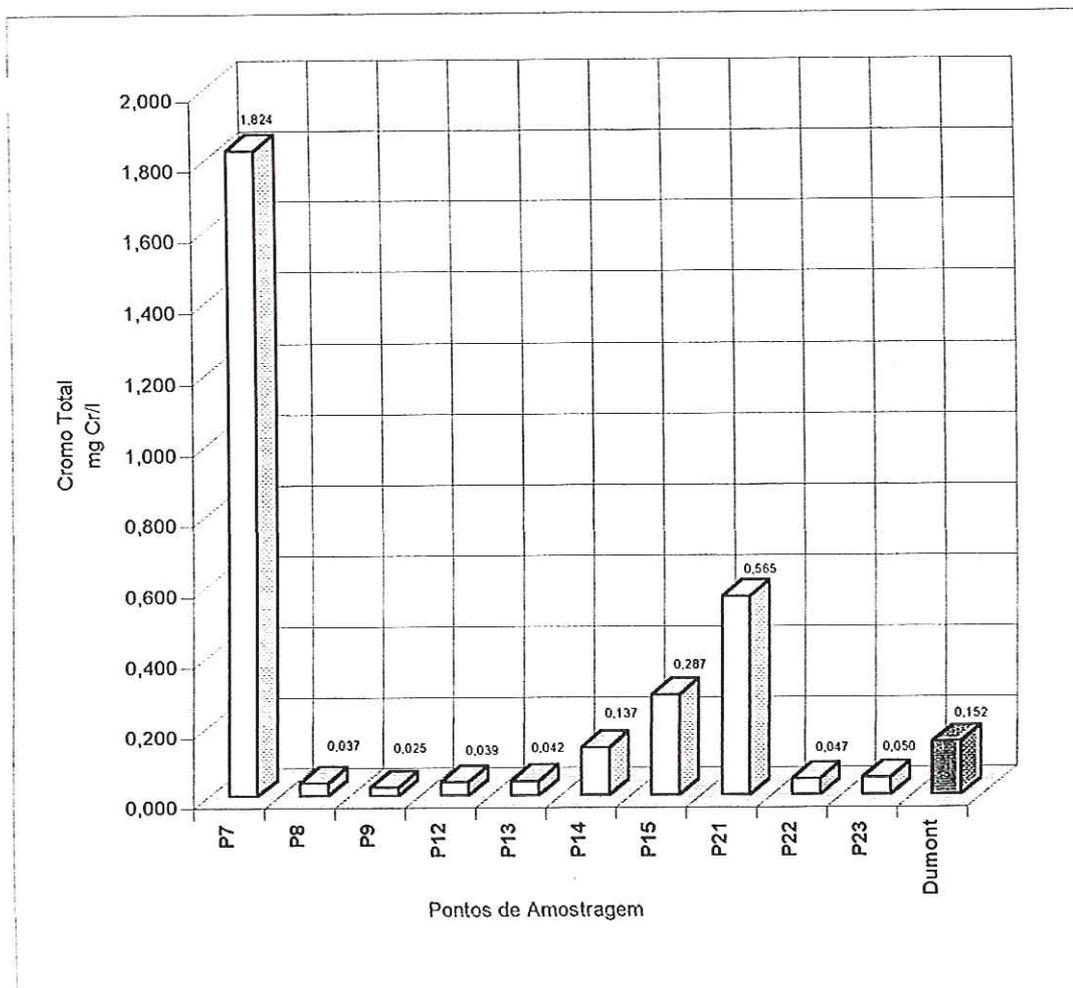


FIGURA 25: Resultados obtidos de Cromo total

No lixão de Serrana, o valor de concentração em cromo total obtido no poço P7 (cava maior) apresentou-se elevado em relação aos demais, fato que pode ser justificado pela disposição de lixo industrial no local. Os valores obtidos de cromo nos demais pontos de amostragem do lixão de Serrana evidenciam o comportamento de diluição apresentado na Figura 12. Pode-se considerar que o íon de cromo possui mobilidade de percolação em solo arenoso.

O valor obtido de cromo no chorume do aterro de Dumont foi de 0,152 mg/L. Comparando-se com os valores do lixão de Serrana, este apresentou-se num valor intermediário, estando entre os valores dos poços P14 e P15.

### 6.14 Cromo hexavalente

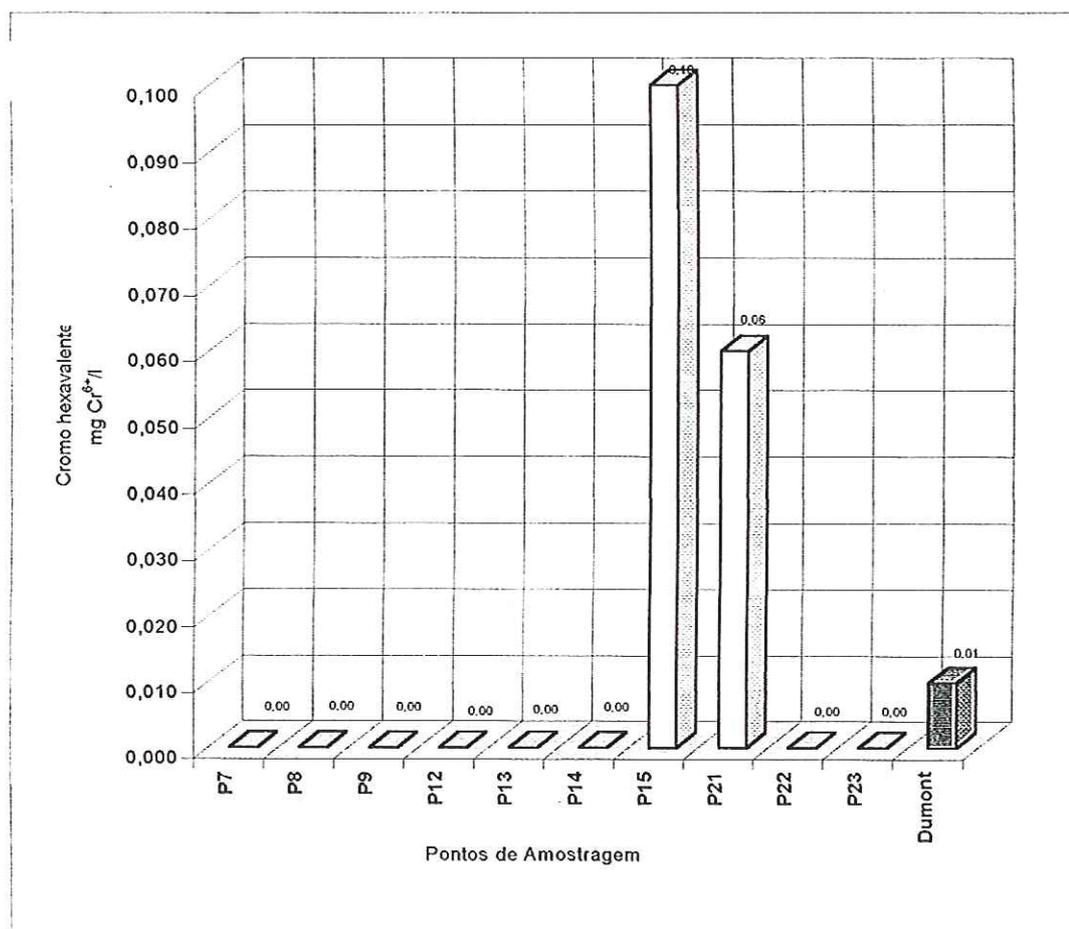


FIGURA 26: Resultados obtidos de cromo hexavalente

No lixão de Serrana, os valores obtidos de cromo hexavalente apresentaram-se, na maioria dos poços, abaixo do limite de detecção do método. O íon de cromo hexavalente somente foi detectado em pontos localizado sobre solo pouco permeável (P15 e P21).

No chorume do aterro de Dumont, o valor obtido de 0,01mg/L, pode ser considerado baixo quando comparado aos valores dos poços P15 e P21 do lixão de Serrana. O método utilizado não possui sensibilidade para concentrações inferiores a 0,01mg/l. Podendo-se observar que os valores apresentaram-se todos abaixo de 0,1mg/L, logo, cromo hexavalente não é característico de chorume e líquido percolado.

### 6.15. Demanda bioquímica de oxigênio – DBO

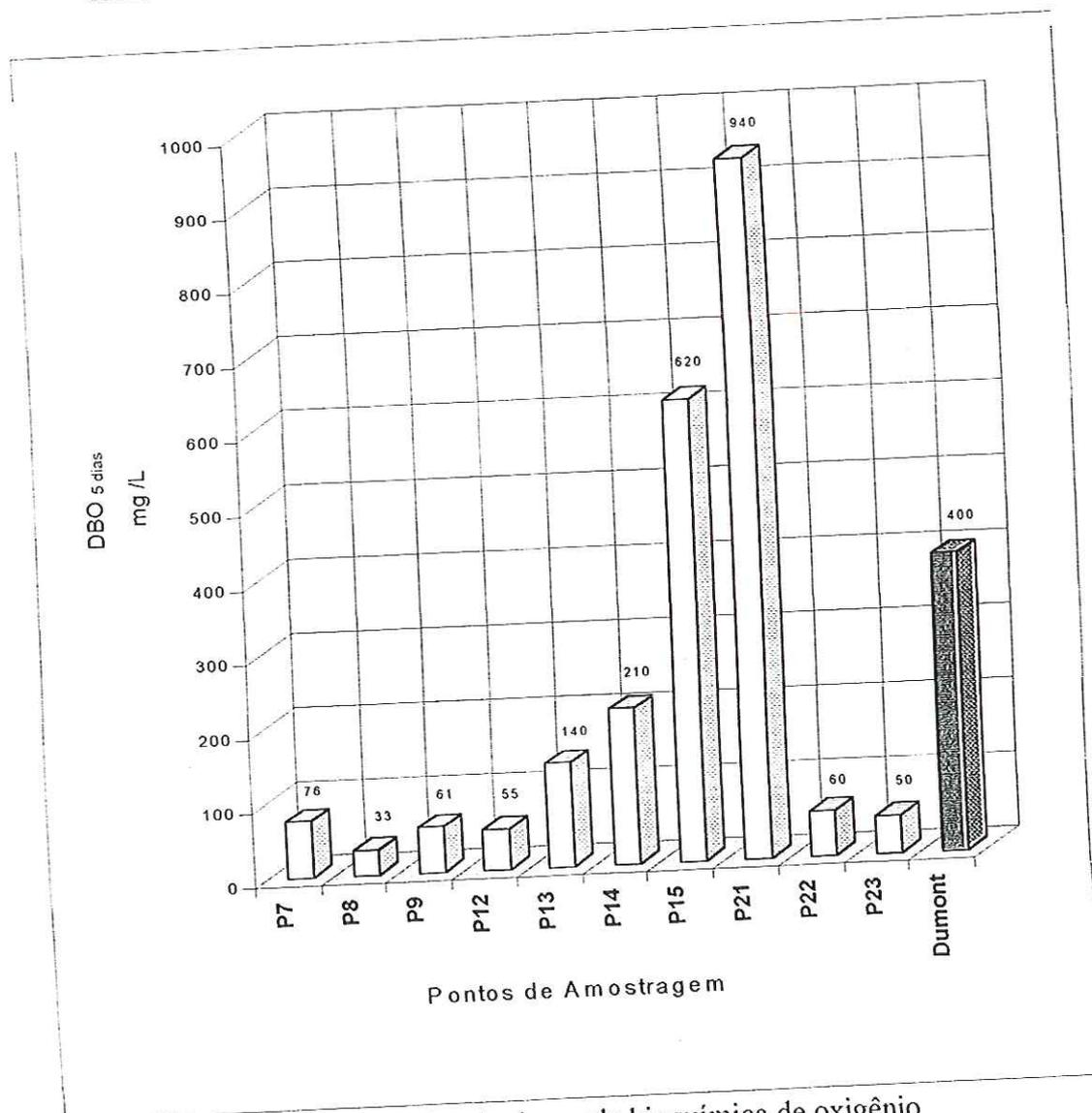


FIGURA 27: Resultados obtidos de demanda bioquímica de oxigênio

No lixão de Serrana, os valores obtidos de DBO apresentaram-se decrescentes das extremidades para o centro, na cava maior (P7 – P15); na cava menor (P21 – P23), apresentaram-se decrescentes no sentido Sul para Norte, conforme mostra a Figura 12.

No aterro de Dumont, o valor obtido de concentração de DBO apresentou-se com 400 mg/L. Comparado-o aos valores do lixão de Serrana, a DBO apresentou-se abaixo dos valores obtidos nos poços P7 e P15, o que pode estar relacionado com a recente idade do aterro e da recirculação do chorume.

### 6.16. Densidade

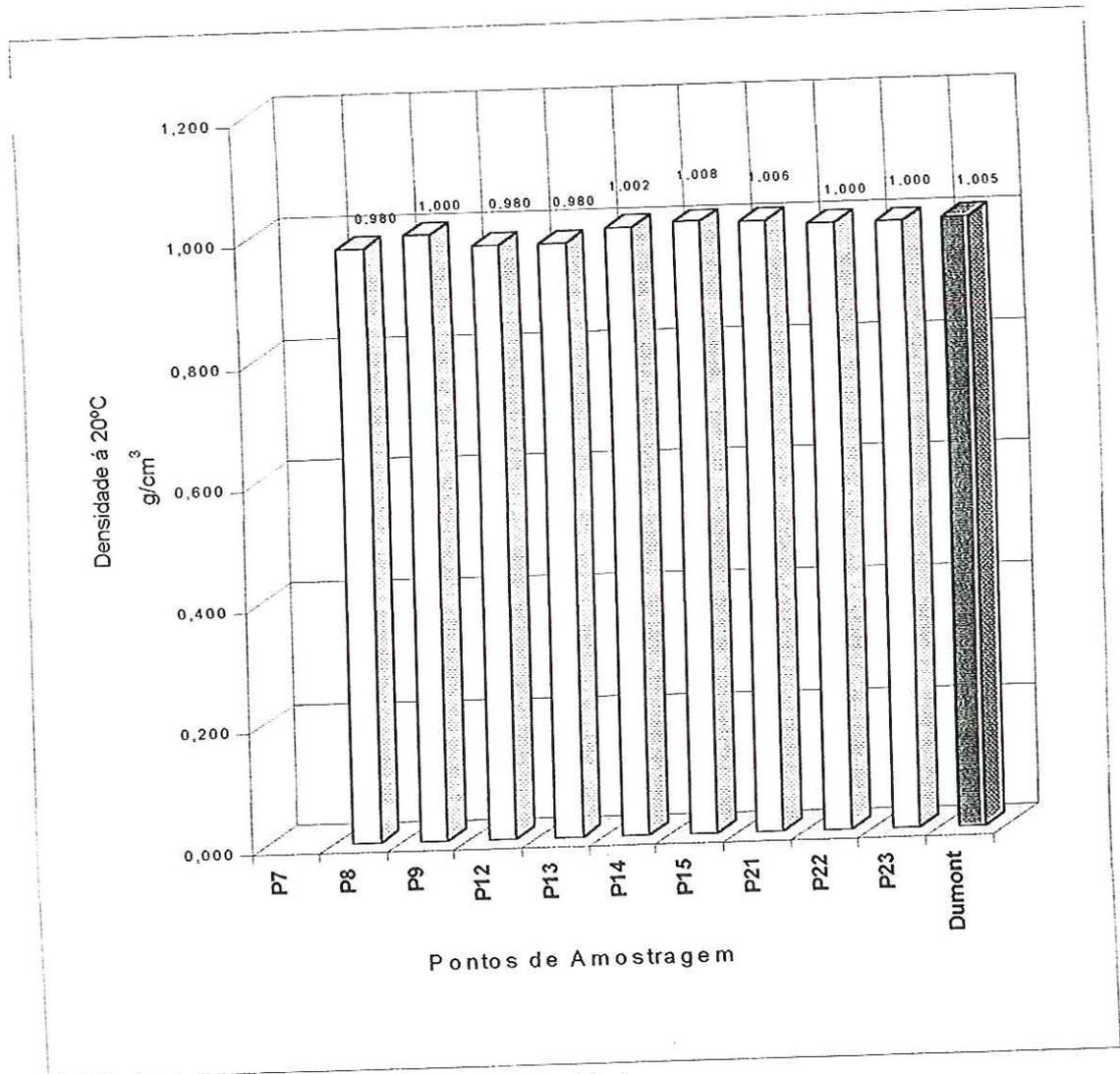


FIGURA 28: Resultados obtidos de Densidade

Nas amostras do lixão de Serrana e do Aterro de Dumont, os valores obtidos de densidade não apresentaram resultados com variações significativas de concentração, ficando todos próximos a  $1,000 \text{ mg/cm}^3$ .

Pode-se considerar que o método utilizado para a determinação de densidade não tenha sensibilidade para atender a uma comparação, ou ainda que o parâmetro densidade não seja característico de líquidos percolados e chorume.

### 6.17. Demanda química de oxigênio - DQO

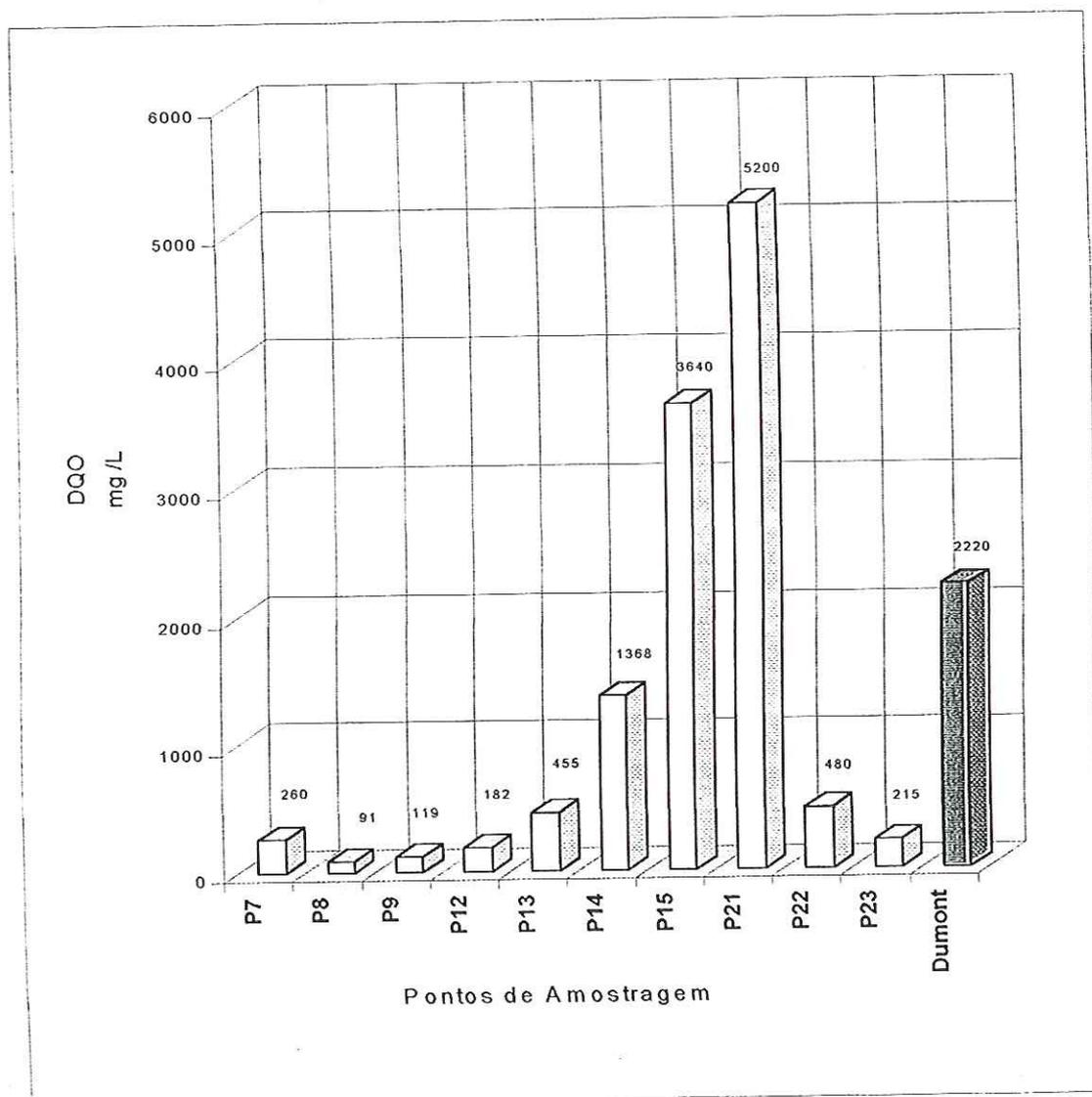


FIGURA 29: Resultados obtidos de demanda química de oxigênio

No lixão de Serrana, os valores obtidos de DQO apresentaram-se maiores nos poços localizados nas extremidades da cava maior (P7 e P15). Estes valores decrescem simultaneamente para o centro desta cava. Na cava menor, os valores decrescem do poço P21 para o P23, conforme mostra a Figura 12.

No aterro de Dumont, o valor obtido de DQO apresentou-se numa faixa intermediária, sendo 2220 mg/L. Este comportamento é análogo ao comportamento da DBO.

### 6.18. Dureza total

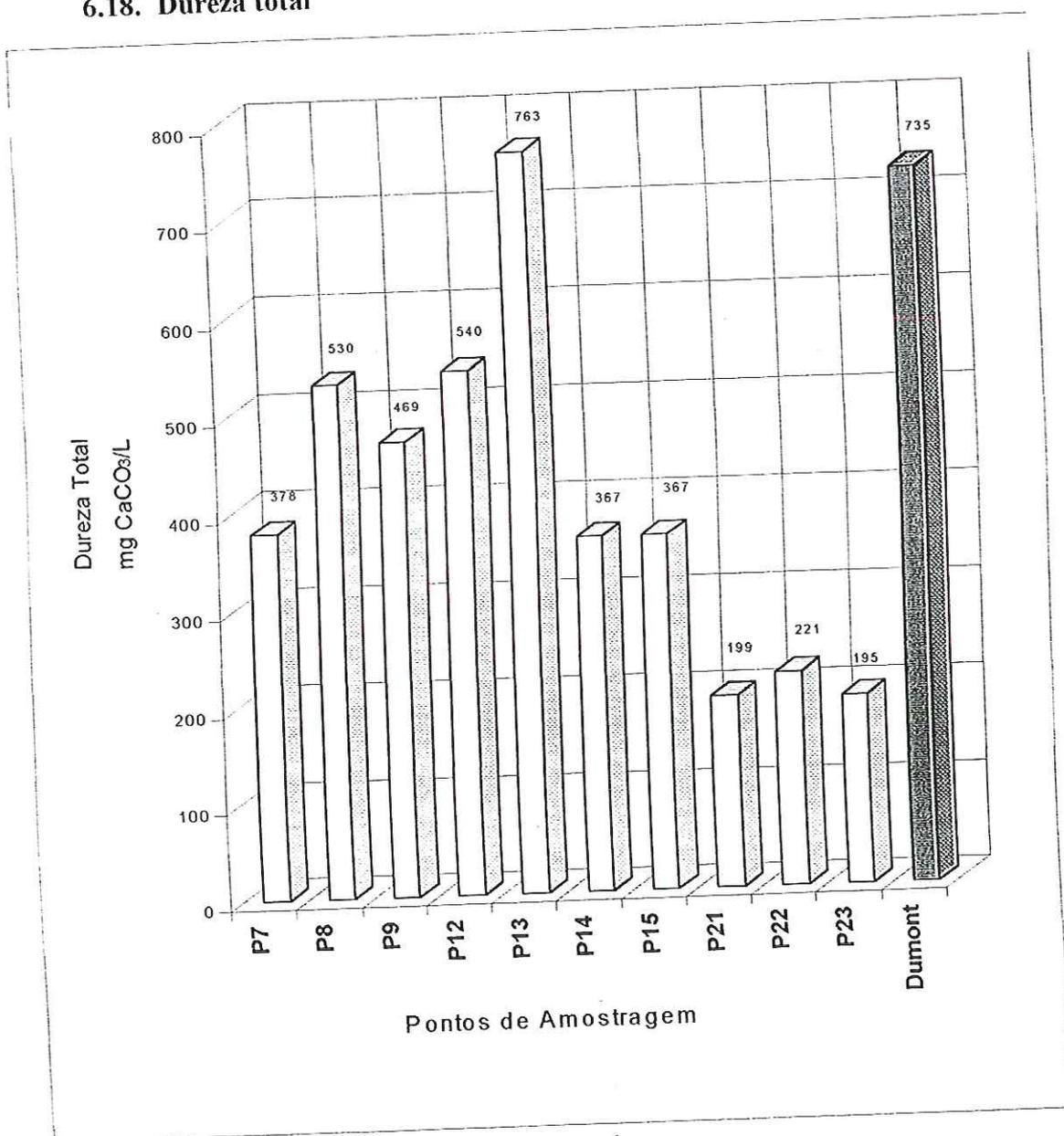


FIGURA 30: Resultados obtidos de dureza total

Os valores obtidos de dureza total nos poços do lixão de Serrana não apresentaram diferenças significativas que pudessem ser ocasionadas por um processo de diluição. Tal fato pode estar relacionado com a baixa mobilidade do íon, como já foi evidenciado com o íon cálcio anteriormente.

O valor de dureza total obtido no chorume do aterro de Dumont apresentou-se numa faixa alta, sendo acima de 700 mg/L.

### 6.19. Fenóis

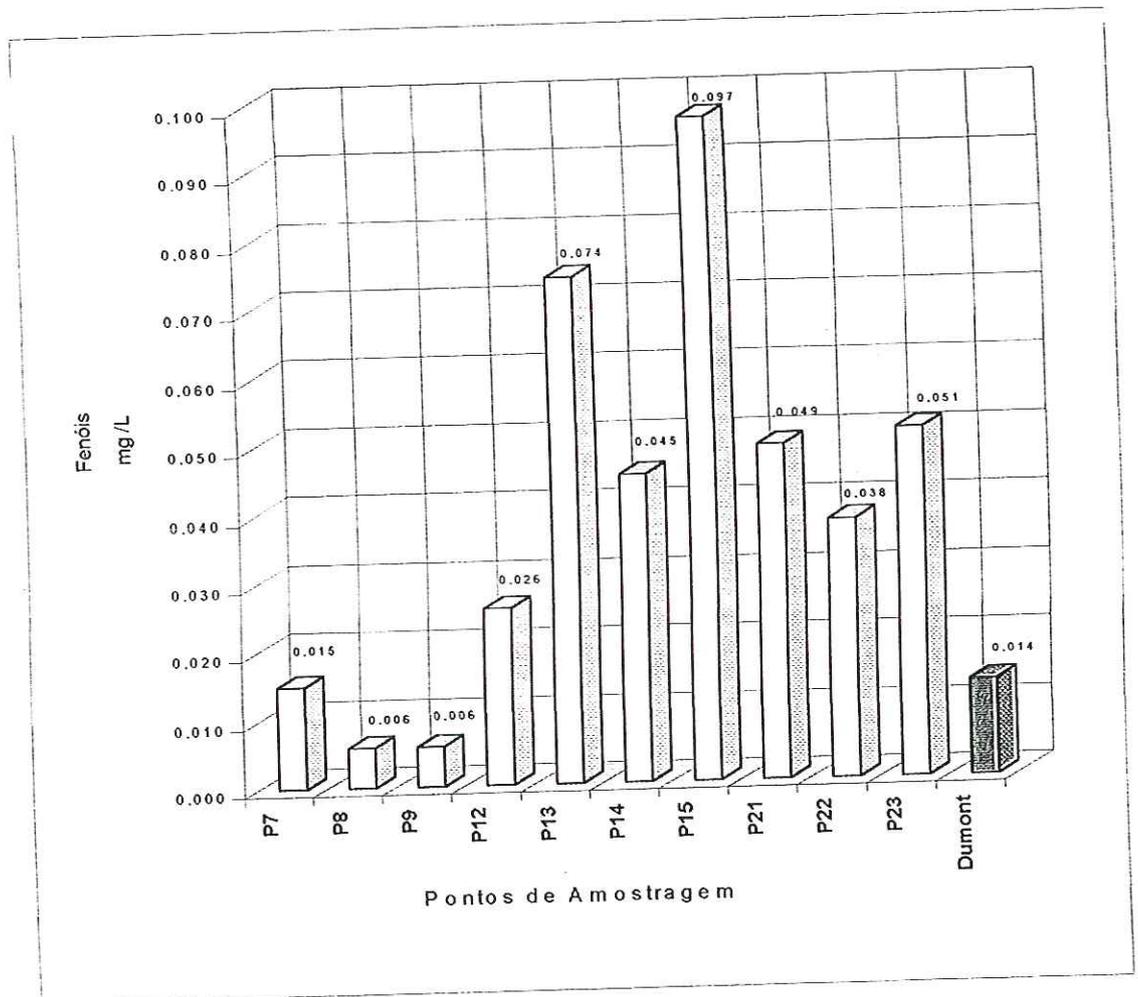


FIGURA 31: Resultados obtidos de fenóis

No lixão de Serrana, os valores obtidos de fenóis apresentaram-se abaixo de 0,100 mg/L. Os valor obtido de fenóis no aterro de Dumont, apresentou-se próximo ao valor do poço P7, porém os valores de fenóis obtidos nos poços P15 e P21 apresentaram-se superiores. Com exceção do valor obtido no poço P13, os demais valores de fenóis atenderam o sentido de diluição representado pela Figura 12.

Considerando-se o limite de detecção do método em 0,01mg/L, os valores obtidos apresentaram-se todos muito próximos a este limite de detecção, podendo-se considerar que o parâmetro fenóis não é característico para determinação da presença de líquidos percolados e chorume.

## 6.20. Ferro

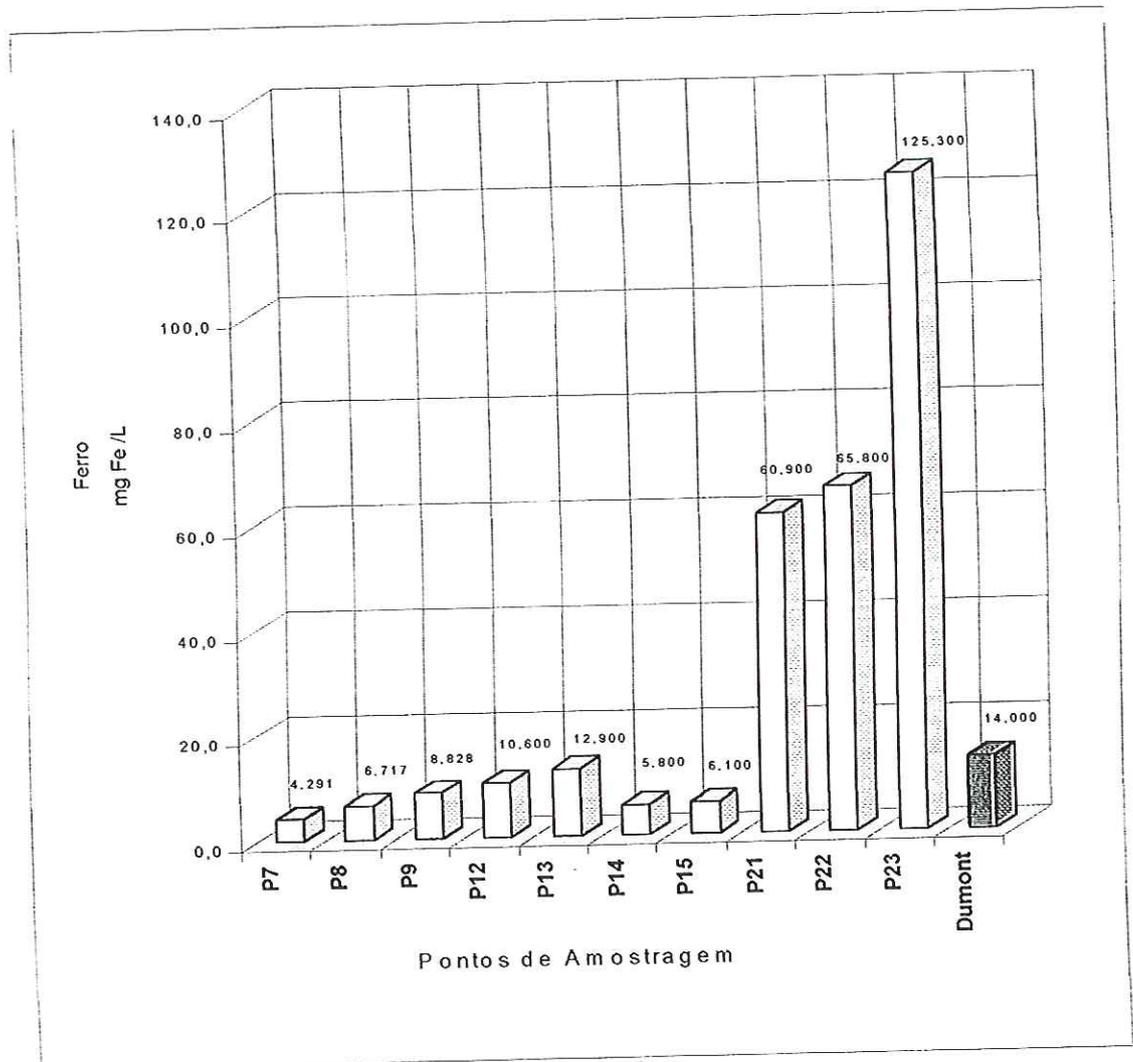


FIGURA 32: Resultados obtidos de ferro

Os valores obtidos de concentração de ferro no lixão de Serrana apresentaram-se maiores na cava menor (P21, P22 e P23), este fato pode estar relacionado com a perfuração recente deste poços e devido a disposição de lixo hospitalar naquele local. Os valores obtidos na cava maior apresentaram-se mais baixos e próximos ao valor obtido de ferro no aterro de Dumont. O fato pode estar relacionado com a presença de catadores de sucata deste material naquela cava e no caso do aterro de Dumont, a redução da presença de ferro no lixo nos dias atuais.

## 6.21. Fluoretos

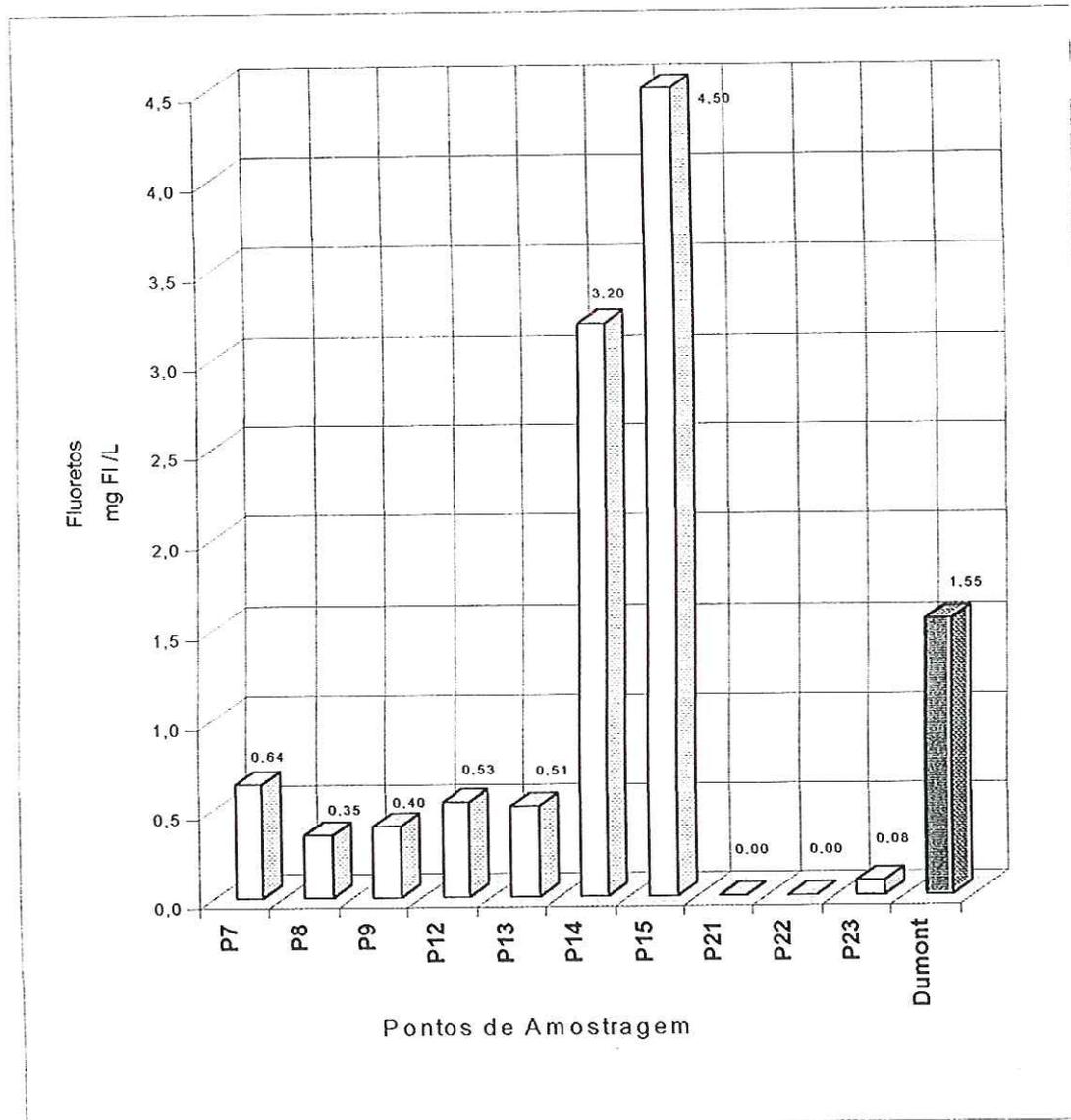


FIGURA 33: Resultados obtidos de fluoretos

Os valores obtidos de fluoretos no lixão de Serrana apresentaram-se elevados nos poços P14 e P15 se comparados aos valores dos demais poços da cava. Na cava menor o íon apresentou-se muito baixo. O comportamento do íon segundo a diluição representada pela Figura 12 é evidente.

No aterro de Dumont os valores obtidos de fluoretos apresentaram-se elevados, caracterizando-se que a recirculação do chorume gerado propicia uma maior concentração do íon fluoretos.

## 6.22. Fósforo Total

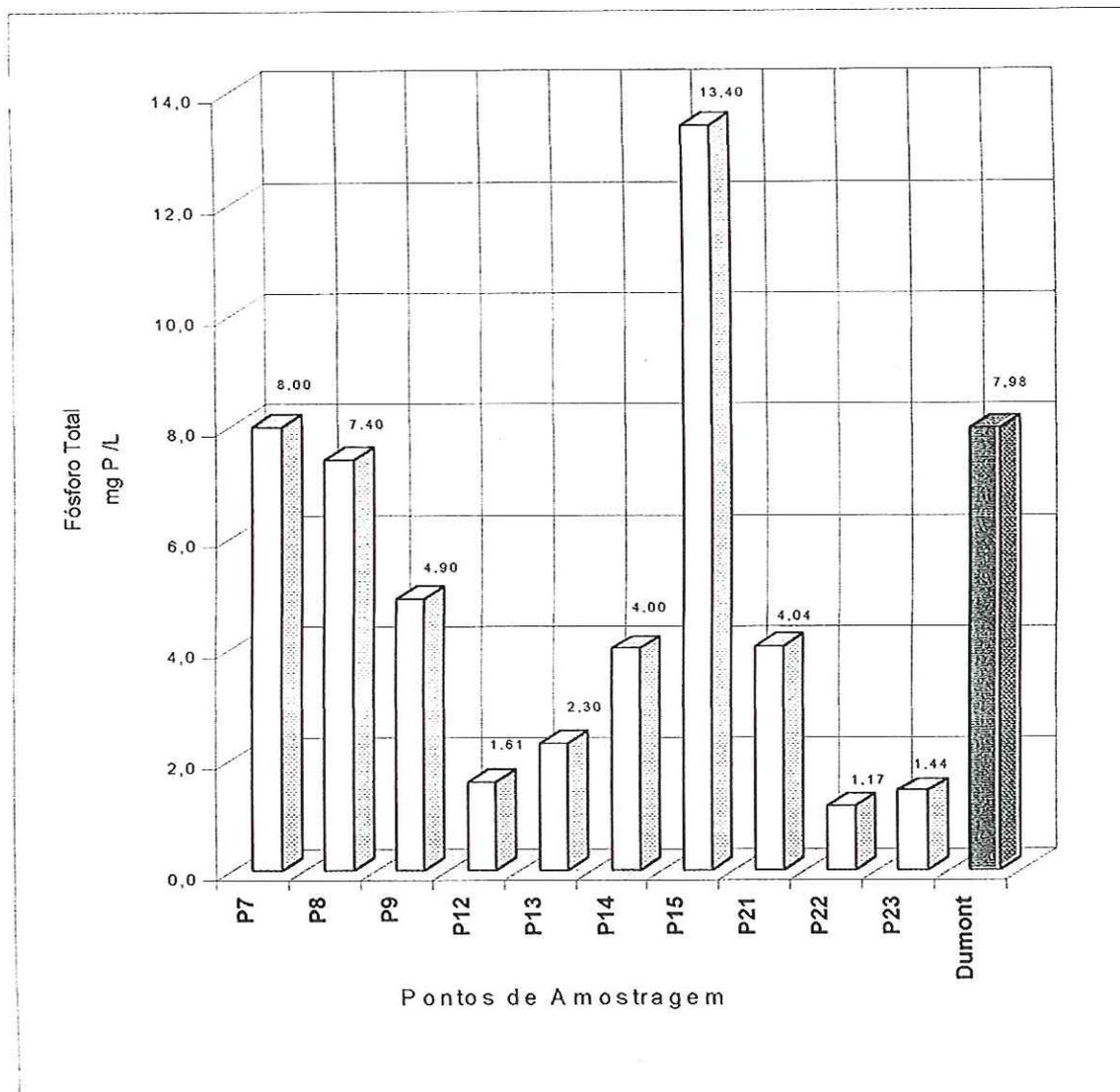


FIGURA 34: Resultados obtidos de fósforo total

No lixão de Serrana, os valores obtidos de concentração de fósforo total apresentaram-se conforme mostra a Figura 12, sendo decrescente das extremidades para o centro do terreno, portanto diluídos e percolados pela contribuição das águas pluviais.

No aterro de Dumont o valor obtido apresentou-se elevado se comparado aos demais. Portanto, o parâmetro é facilmente percolado, podendo ser considerado característico para detecção da presença destes líquidos.

### 6.23. Magnésio

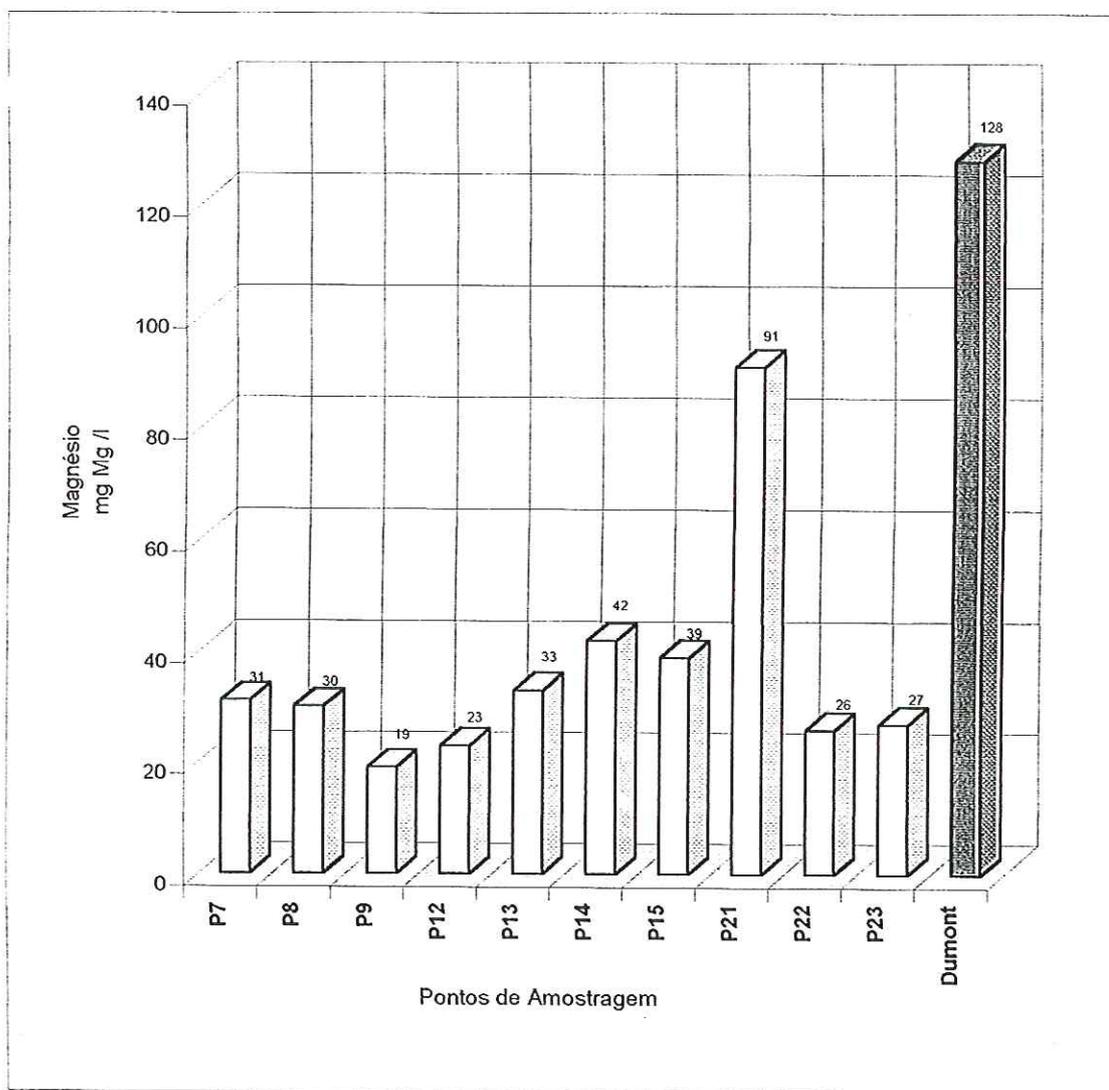


FIGURA 35: Resultados obtidos de magnésio

Os resultados obtidos de magnésio nos poços do lixão de Serrana, apresentaram-se conforme a tendência de diluição representada pela Figura 12, podendo ser considerado um íon com mobilidade em solo permeável.

O valor obtido de concentração de magnésio no aterro de Dumont apresentou-se muito elevado em relação aos demais. Este fato confirma o sistema de engenharia associado a recirculação dos líquidos gerados favorecem a maior concentração deste íon.

### 6.24. Manganês

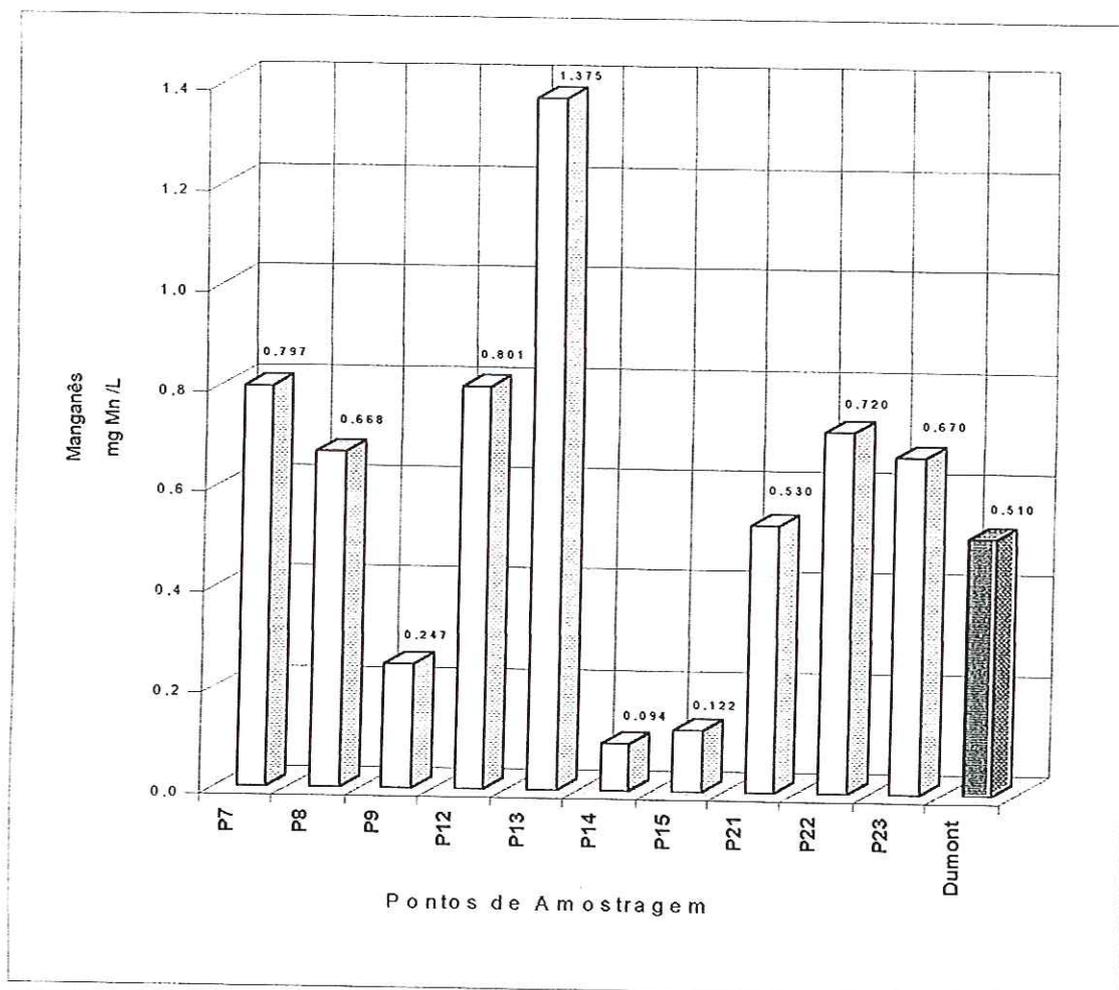


FIGURA 36: Resultados obtidos de manganês

Os valores obtidos de manganês nos poços P7, P8 e P12 (cava maior) e os poços P21, P22 e P23 (cava menor) apresentaram valores entre 0,5 e 0,8 mg/l. Os poços P9, P14 e P15 apresentaram valores menores, aproximadamente entre 0,090 e 0,025 mg/l. A exceção do valor obtido do poço P13 que apresentou-se elevado se comparado aos demais.

No aterro de Dumont o valor obtido de concentração de manganês no chorume do apresentou-se próximo a maioria dos valores elevado em relação aos demais. Pode-se concluir que o sentido esperado de diluição referente ao íon manganês representado pela Figura 12 não foi atendido e que o sistema de engenharia proporciona a concentração do íon

### 6.25. Níquel

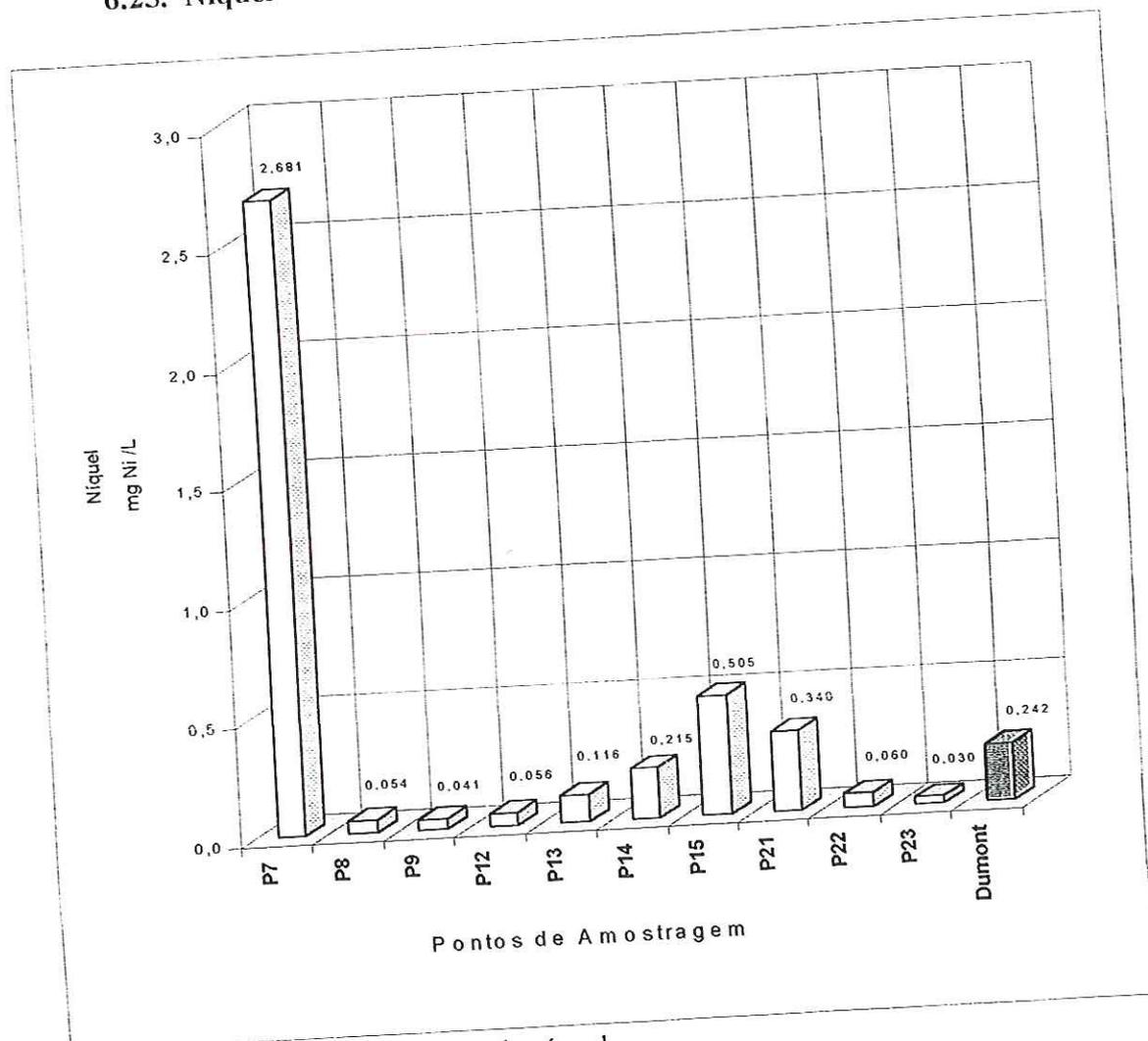


FIGURA 37: Resultados obtidos de níquel

Os valores obtidos de concentração de níquel no lixão de Serrana, apresentaram um comportamento de diluição conforme a Figura 12, o valor obtido no poço P7 apresentou-se elevado, tal fato pode ser justificado pela disposição de lixo industrial no local.

O valor obtido no chorume do aterro de Dumont ficou próximo aos valores dos poços P15 e P21 do lixão de Serrana, que estão sobre solo pouco permeável. Tal fato mostra que o íon níquel é facilmente percolado e que o sistema de engenharia e recirculação do chorume possibilita a concentração do íon.

### 6.26. Nitrogênio albuminóide

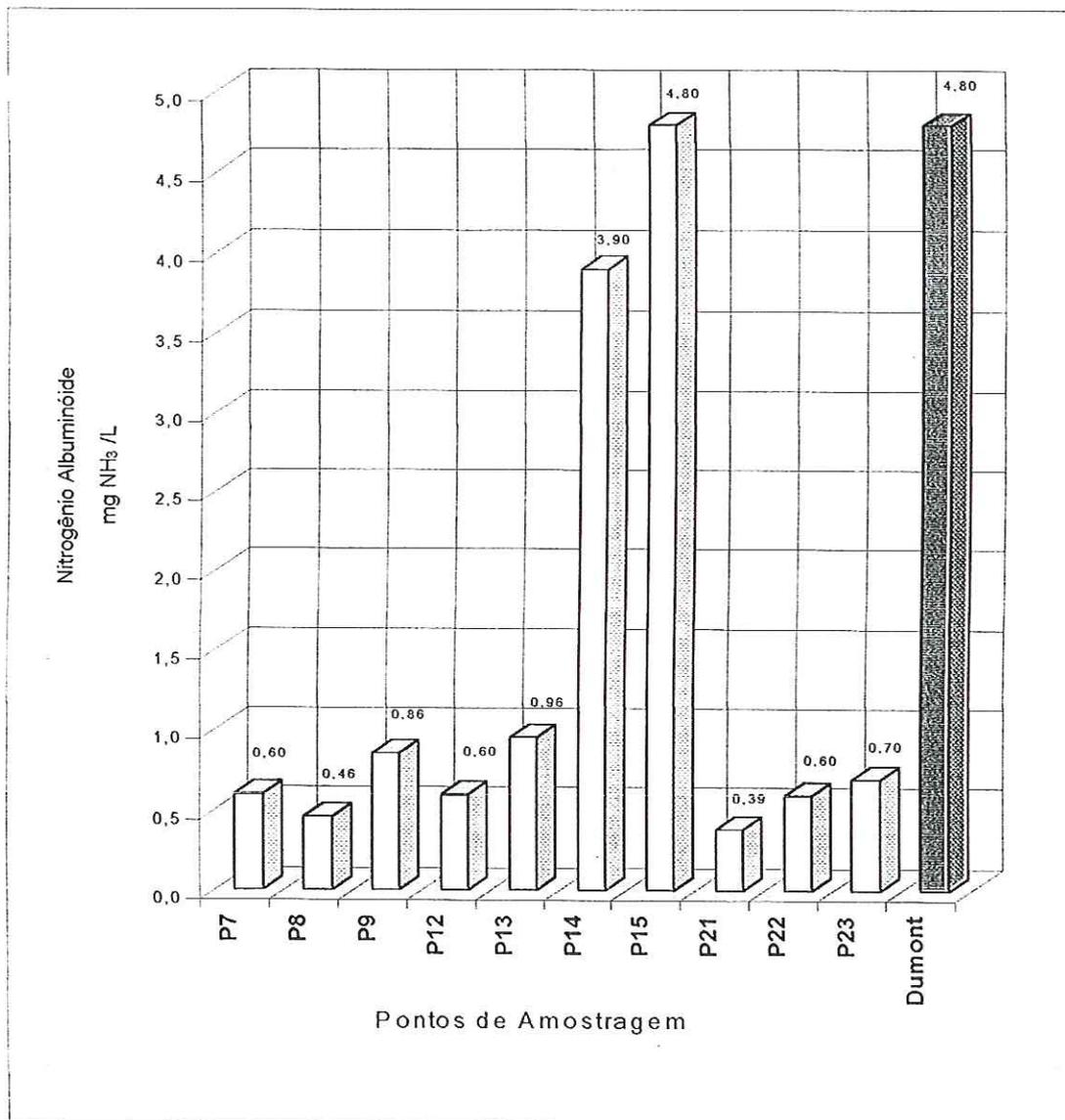


FIGURA 38: Resultados obtidos de nitrogênio albuminóide

Os valores obtidos de concentração de nitrogênio albuminóide do lixão de Serrana, apresentaram – se aproximadamente entre 0,4 e 0,9 mg/L. Exceto os valores obtidos nos poços P14 e P15 que apresentaram -- se entre 4,0 e 5,0 mg/L.

O valor obtido no chorume do aterro de Dumont apresentou-se elevado, sendo 4,8 mg/L. Tal fato confirma que o sistema de engenharia dotado de recirculação do chorume propicia a concentração de nitrogênio albuminóide.

### 6.27. Nitrogênio Amoniacoal

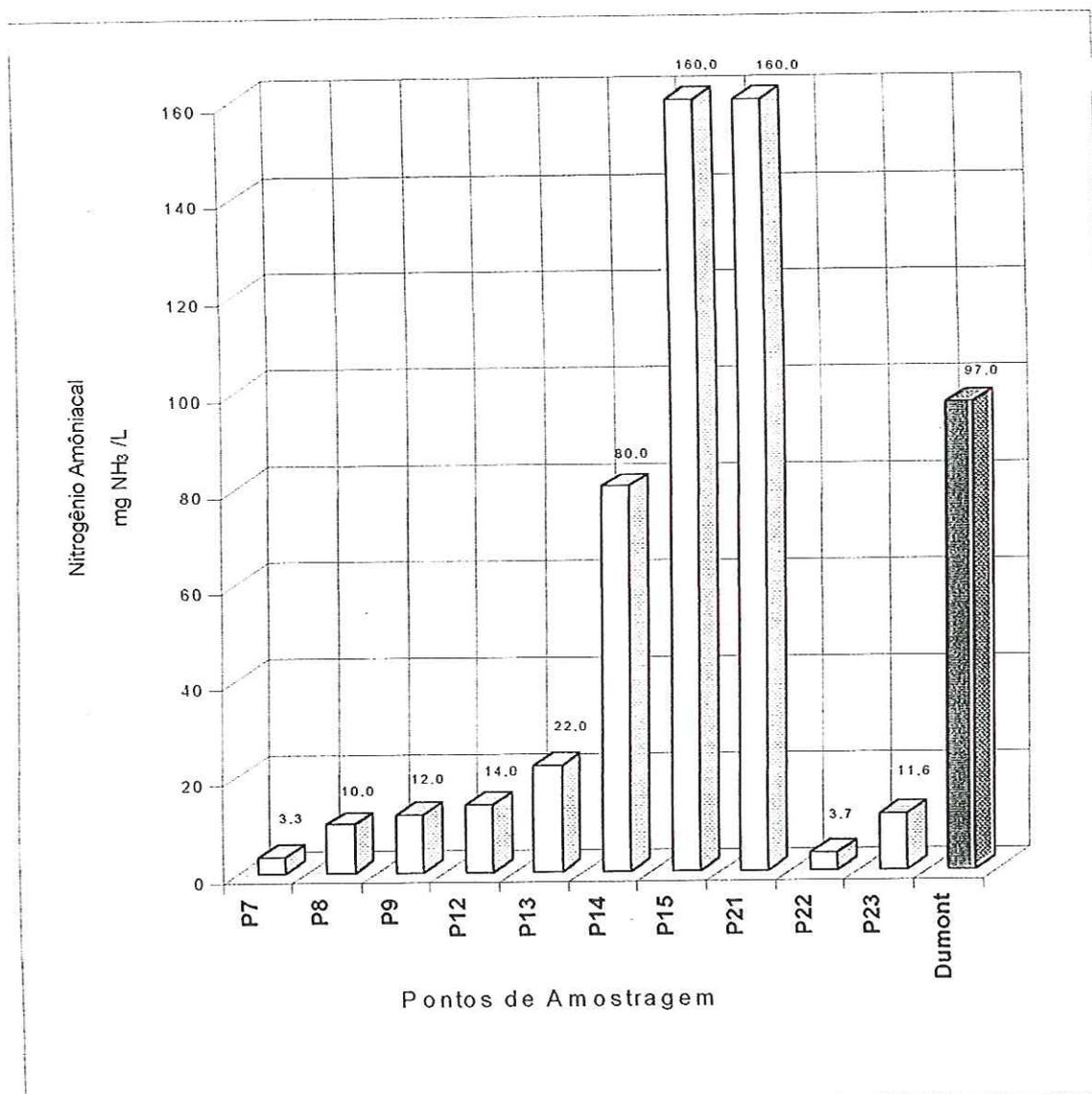


FIGURA 39: Resultados obtidos de nitrogênio amoniacoal

Os valores obtidos de nitrogênio amoniacoal no lixão de Serrana apresentaram-se elevados nos poços P15 e P21. Esses valores decrescem na direção do centro do terreno, conforme representado pela Figura 12.

O valor obtido no aterro de Dumont apresentou-se elevado. Tal fato confirma que um aterro sanitário dotado de sistema de engenharia e recirculação de chorume propicia a concentração de nitrogênio amoniacoal. Este parâmetro pode ser considerado característico para estudos relacionados a estes líquidos.

### 6.28. Nitrogênio Total de Kjeldahl

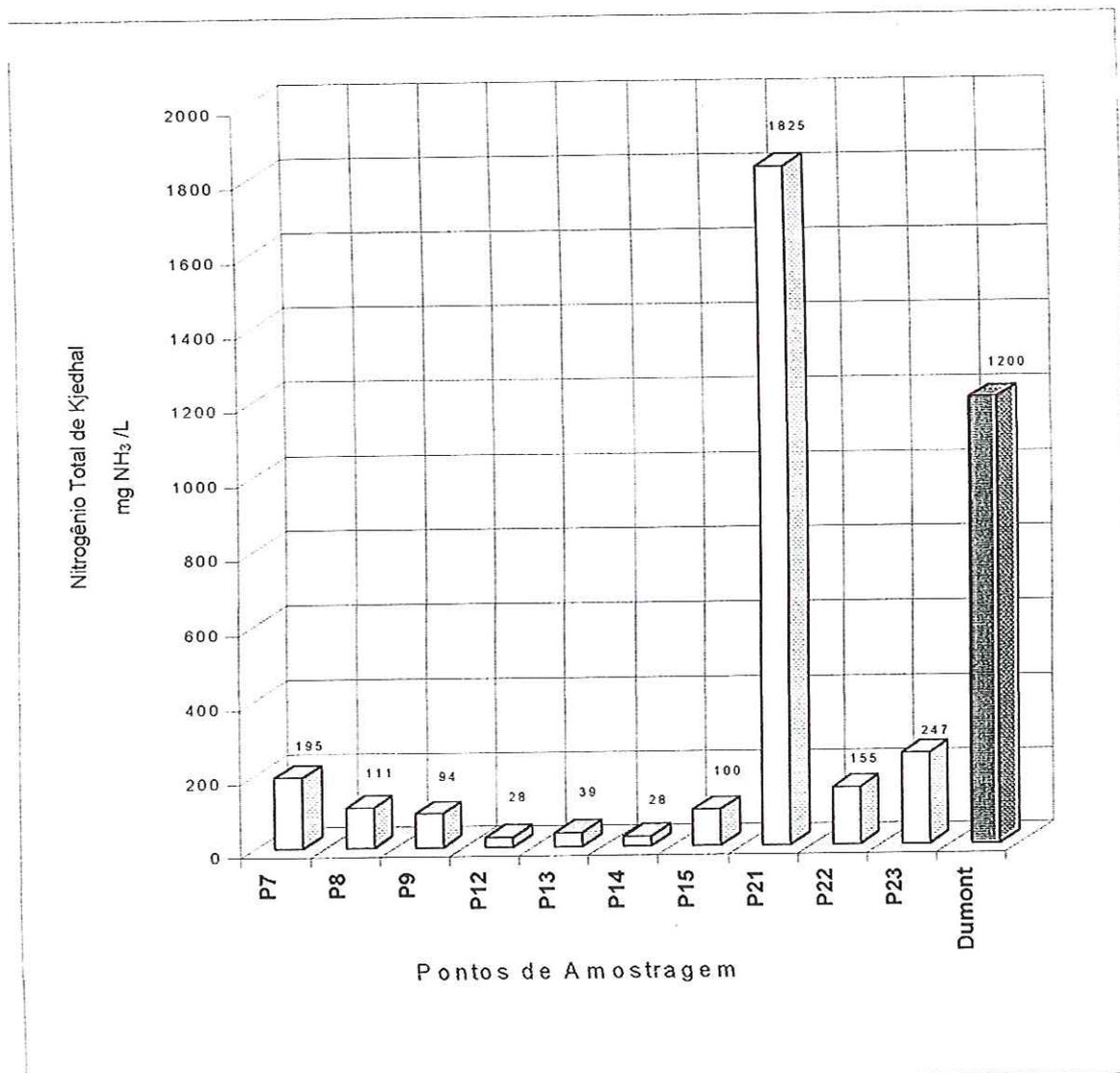


FIGURA 40: Resultados obtidos de nitrogênio total de Kjeldahl

Os valores obtidos de nitrogênio Kjeldahl nos poços da cava maior do lixão de Serrana apresentaram um comportamento de diluição, conforme mostra a Figura 12. Os valores da cava menor também apresentaram-se conforme a Figura 12, porém, o poço P 21 daquela cava apresentou um valor muito elevado, o que pode ser devido ao fato destes poços terem sido cavados recentemente. O valor obtido no chorume de Dumont apresentou-se também elevado, fato que pode ser atribuído ao sistema de engenharia dotado por recirculação de chorume, proporcionando um aumento na concentração de nitrogênio total de Kjeldahl nestes líquidos percolados. Podendo ser considerado um parâmetro característico de líquidos percolados.

## 6.29. Nitrato

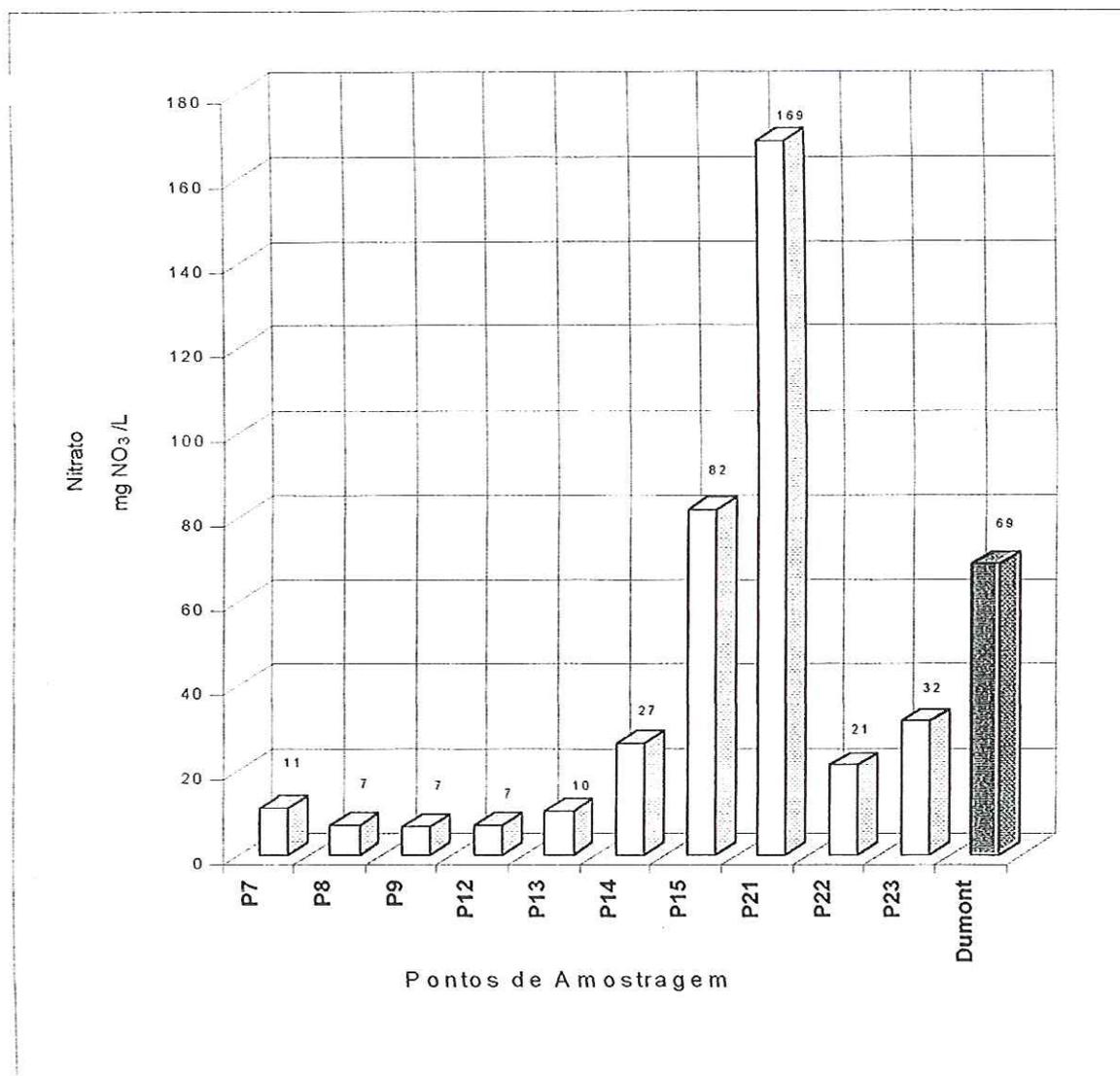


FIGURA 41: Resultados obtidos de nitrato

Os valores obtidos de concentração de nitrato nos poços da cava maior e cava menor do lixão de Serrana apresentaram-se com comportamento de diluição, conforme representado pela Figura 12. O valor obtido de nitrato do poço P21 apresentou-se elevado em relação aos demais, fato que pode ser justificado pela perfuração recente deste poço.

O valor obtido de nitrato do chorume do aterro de Dumont também apresentou-se elevado, fato que confirma a concentração deste íon em sistema dotado de engenharia. Este parâmetro pode ser considerado característico nestes líquidos.

## 6.30. Nitrito

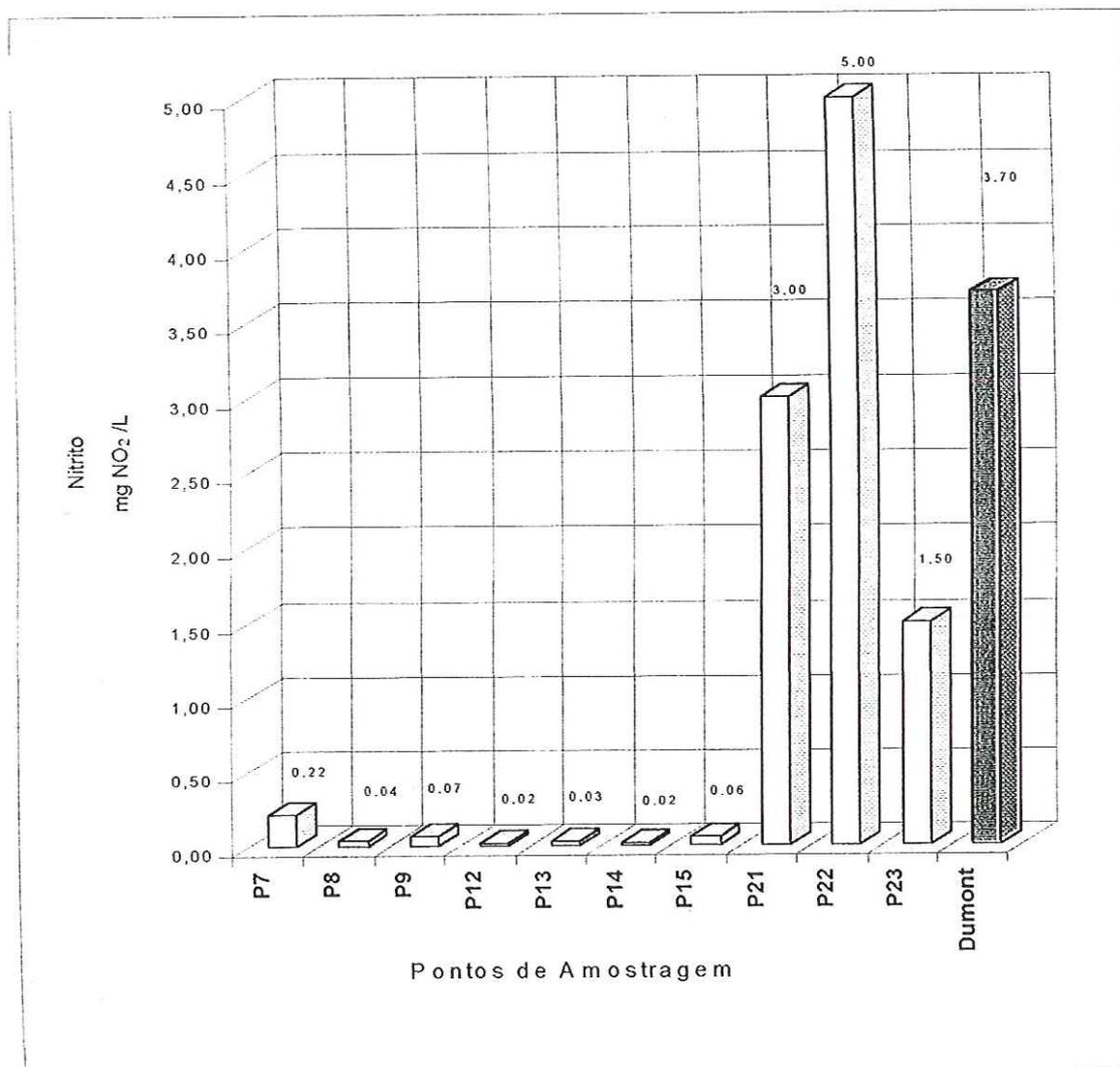


FIGURA 42: Resultados obtidos de nitrito

Os valores obtidos de nitrito na cava maior do lixão de Serrana, apesar de terem sido baixos, apresentaram um comportamento de diluição conforme a Figura 12. Os valores obtidos de concentração de nitrito nos poços da cava menor apresentaram-se elevados, podendo ser devido à disposição de lixo hospitalar ou ainda pela perfuração recente destes poços.

No chorume do aterro de Dumont, o valor obtido apresentou-se elevado e próximo aos valores da cava menor do lixão de Serrana. Tal fato pode ser devido à recirculação de chorume que propicia a concentração deste íon.

### 6.31. Nitrogênio Total

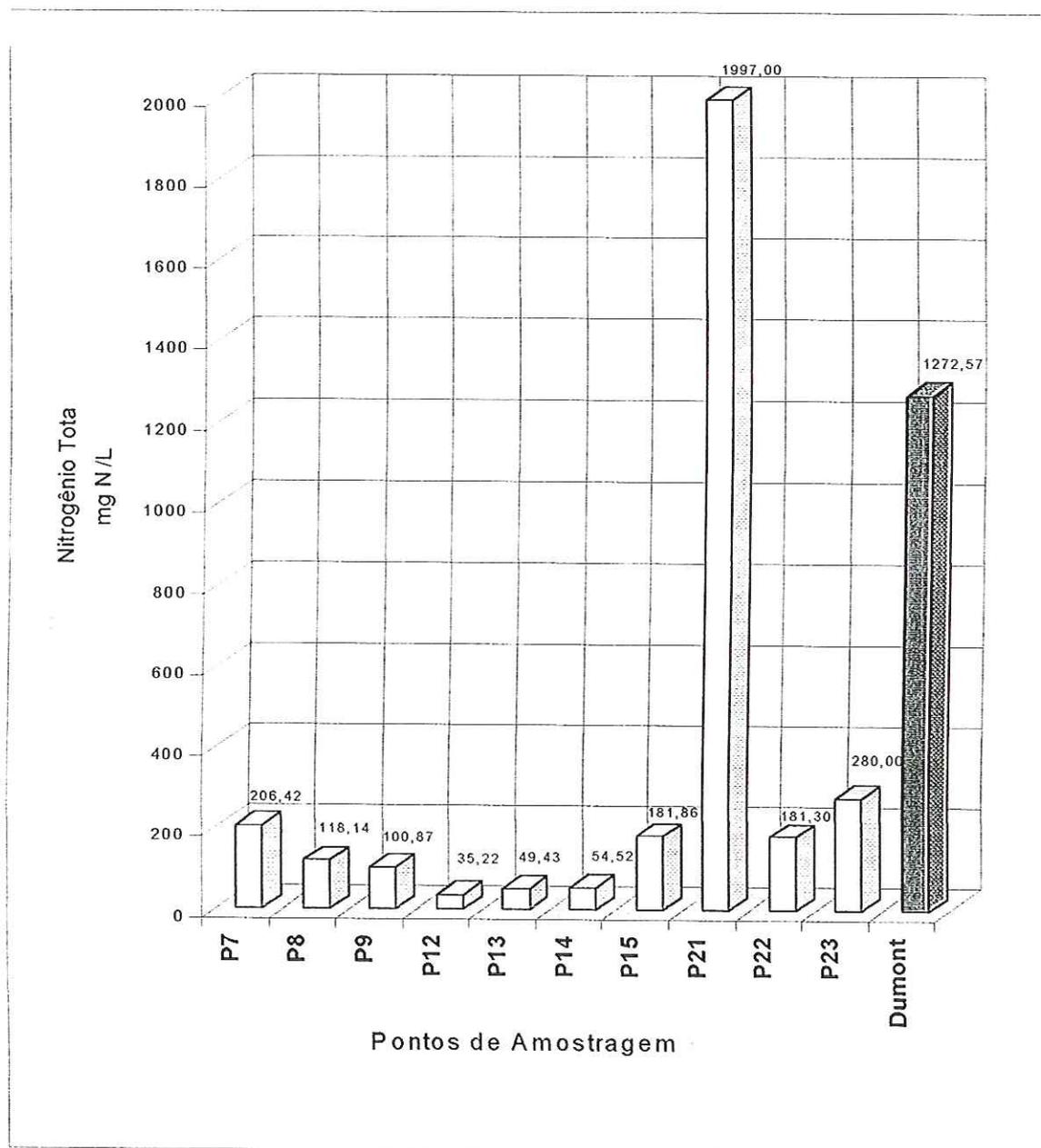


FIGURA 43: Resultados obtidos de nitrogênio total

No lixão de Serrana, os valores calculados de nitrogênio total apresentaram um sentido de diluição conforme mostrado na Figura 12. Apenas o poço P21 apresentou-se elevado em relação aos demais, devido ao alto valor de nitrogênio amoniacal.

No aterro de Dumont o valor apresentou-se elevado, podendo ser considerado característico para identificação e avaliação destes líquidos.

## 6.32. Oxigênio Consumido

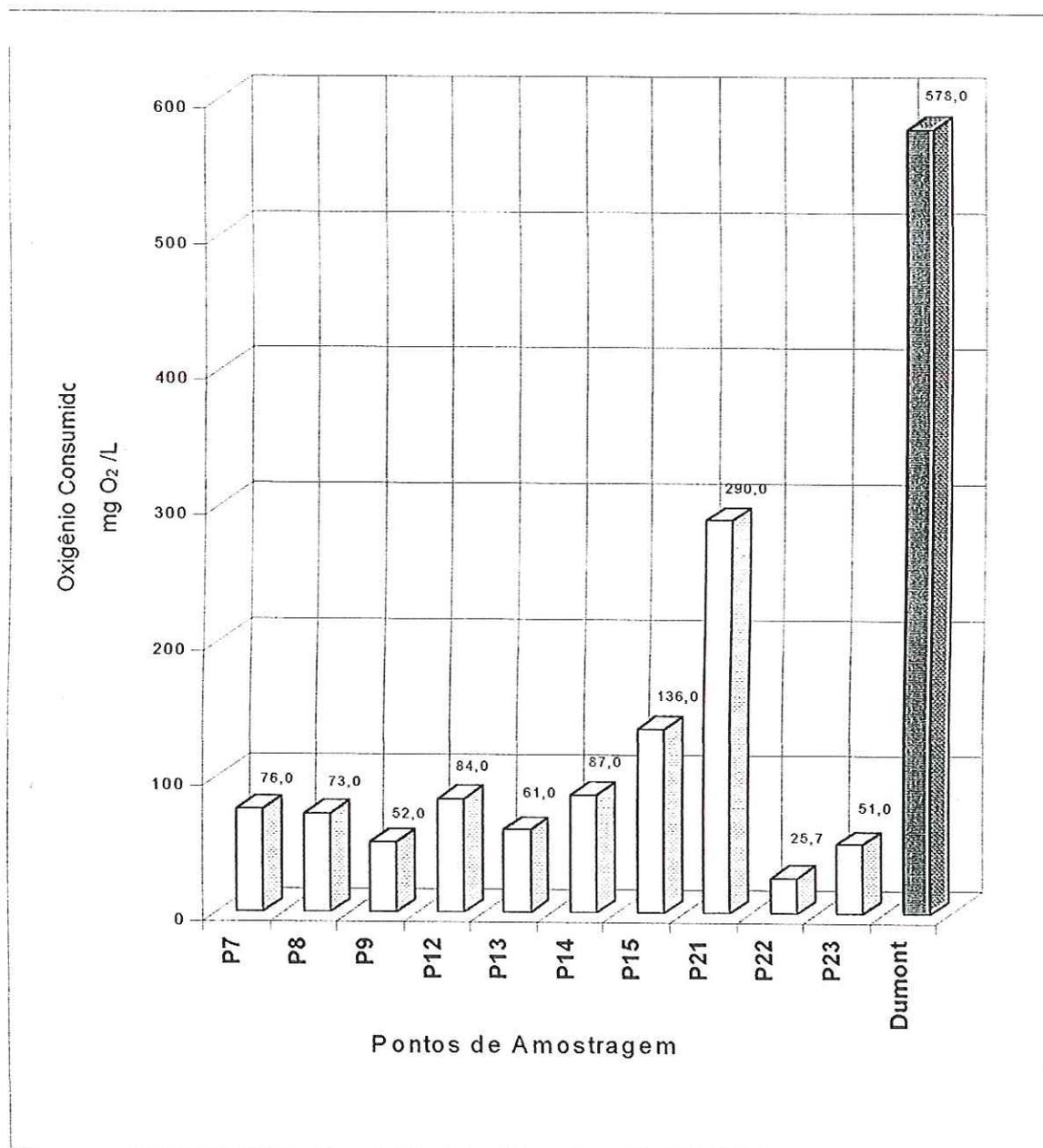


FIGURA 44: Resultados obtidos de oxigênio consumido

No lixão de Serrana, os valores obtidos de concentração de oxigênio consumido na cava maior apresentaram-se próximos, exceto no poço P21 da cava menor.

No chorume do aterro de Dumont, o valor apresentou-se acima de 550 mg/L. Esta elevada concentração pode ser devido à recirculação do chorume. Este parâmetro pode ser considerado importante para caracterização destes líquidos.

## 6.33. pH

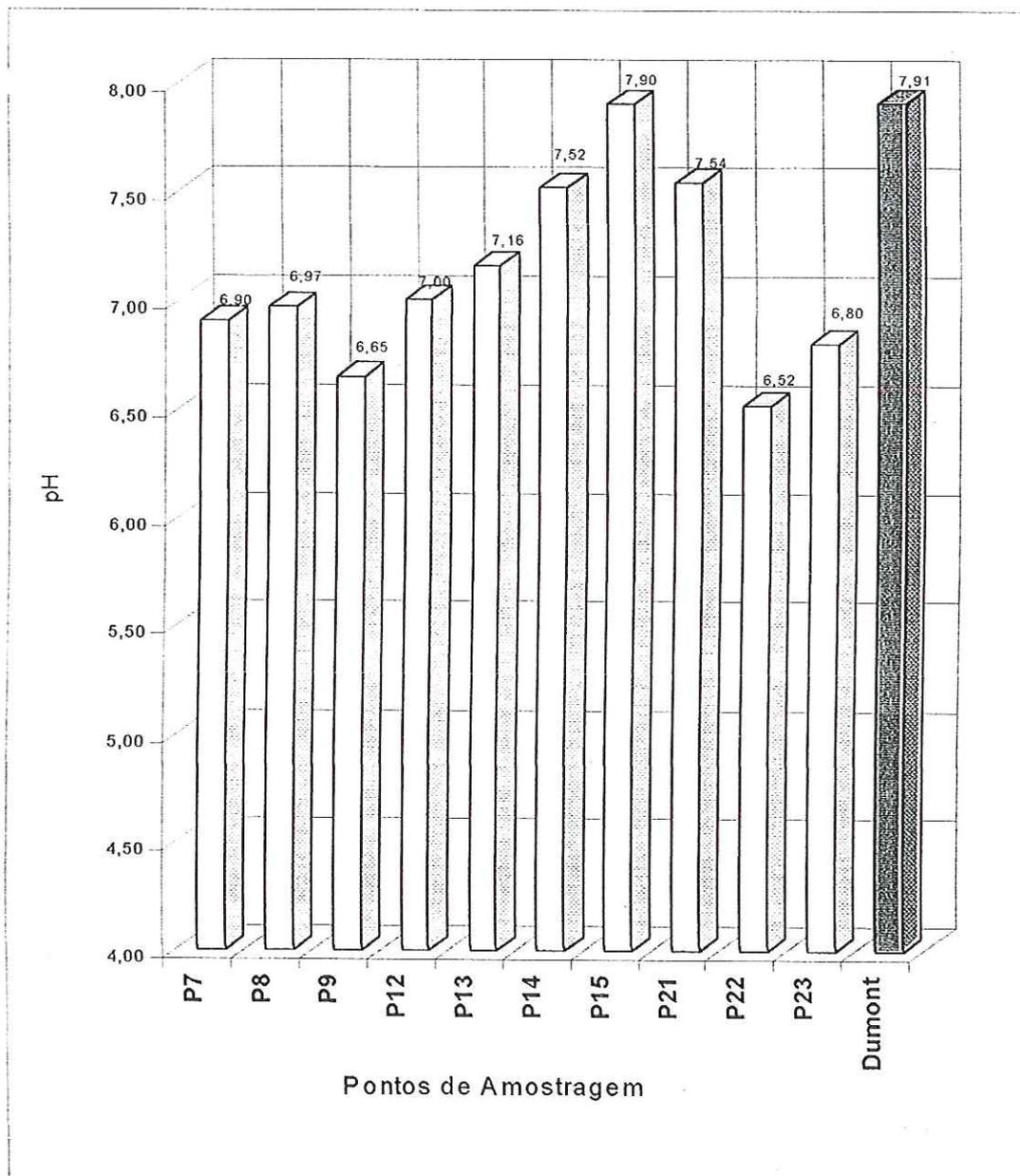


FIGURA 45: Resultados obtidos de pH

Os valores obtidos de pH, nos poços do lixão de Serrana e no chorume do aterro de Dumont, apresentaram-se numa faixa de 6,5 a 7,9 em todas as amostras.

Observou-se que nos poços localizados sobre o solo arenoso do lixão de Serrana (P9 e P22) os valores de pH apresentaram-se em torno de 6,5, fato que pode ser justificado pela contribuição das águas pluviais que possuem naturalmente um pH levemente ácido.

Portanto, a representação da Figura 12 pode ser considerada atendida para pH.

## 6.34. Potássio

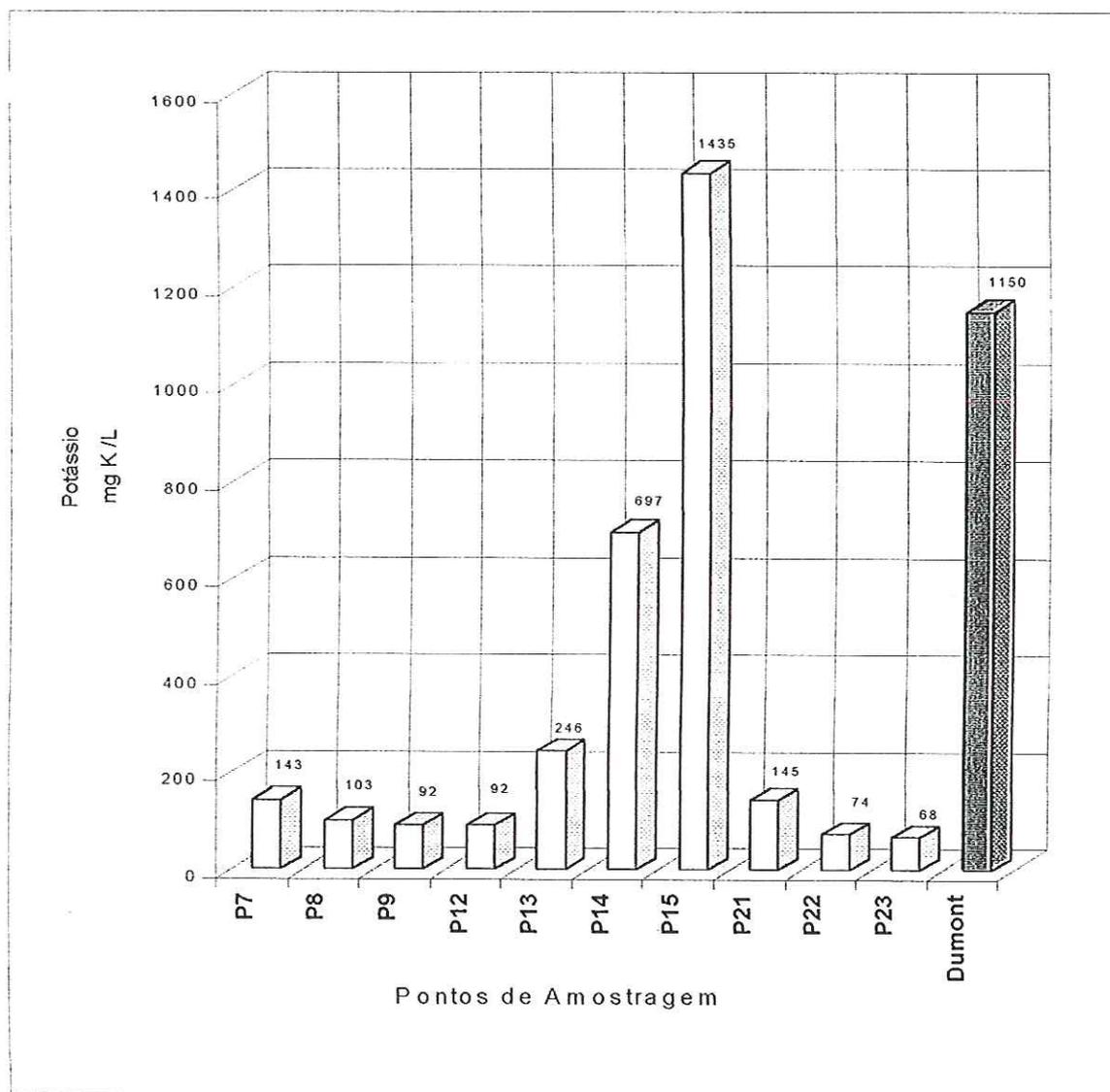


FIGURA 46: Resultados obtidos de potássio

Os valores obtidos de concentração de potássio nos poços do lixão de Serrana apresentaram-se conforme a representação da Figura 12 nas duas cavas, mostrando uma diluição em solo arenoso.

No chorume do aterro de Dumont, o valor obtido apresentou-se elevado próximo aos valores dos poços do lixão de Serrana, que estão localizados sobre o solo mais impermeável. Tal fato mostra que a recirculação do chorume e o sistema de engenharia do aterro proporciona a obtenção de chorume com maior concentração de potássio, podendo ainda considerar que o íon potássio possui mobilidade por contribuição das águas pluviais.

### 6.35. Sódio

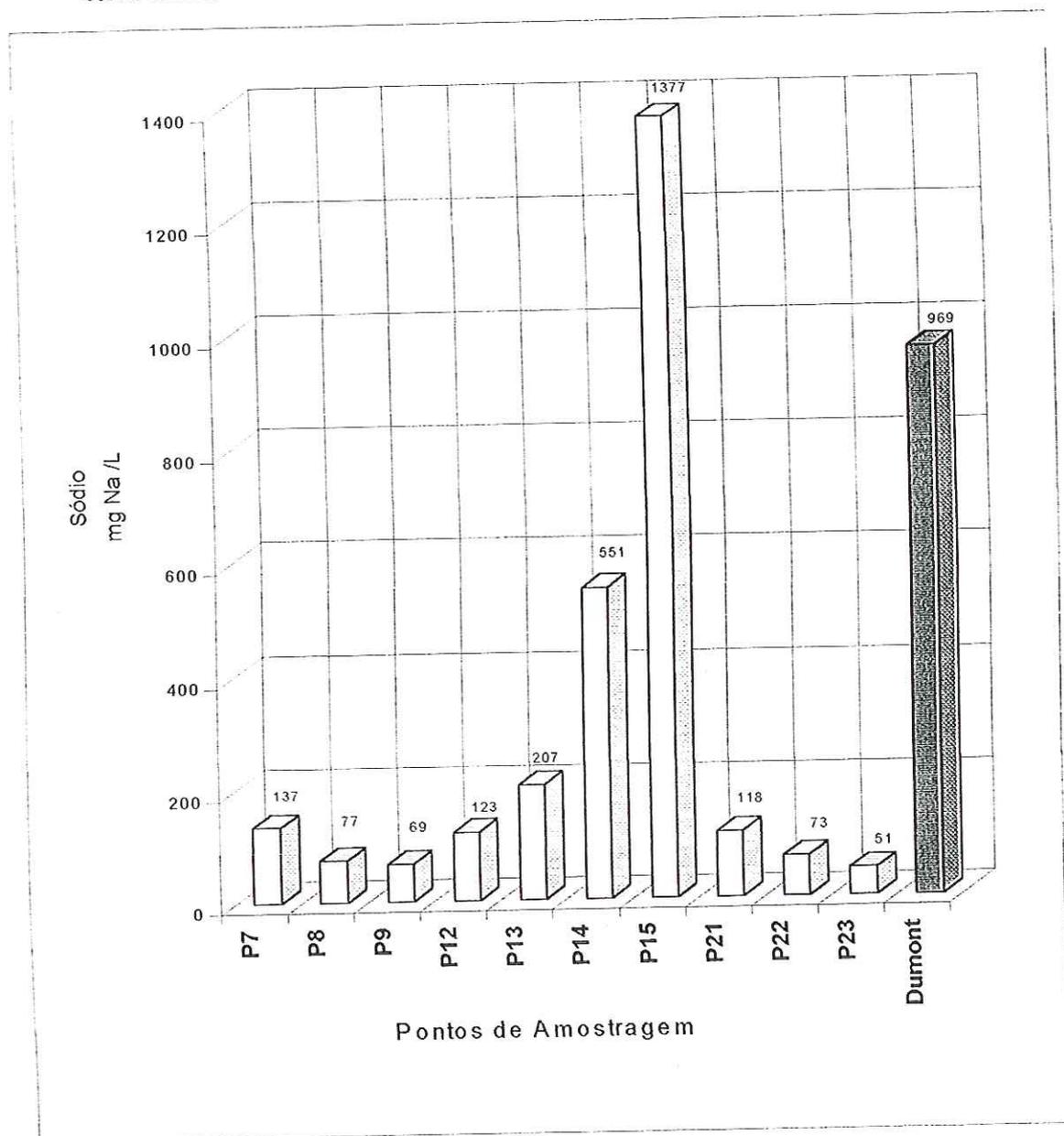


FIGURA 47: Resultados obtidos de sódio

Os valores obtidos de concentração de sódio nas duas cavas do lixão de Serrana apresentaram-se com diluição, conforme mostra a Figura 12.

No aterro de Dumont, o valor obtido apresentou-se elevado, entre os valores dos poços P14 e P15, que estão localizados sobre um solo pouco permeável.

Tal fato mostra que a recirculação e o sistema de engenharia do aterro de Dumont proporciona a concentração do íon sódio, que possui permeabilidade em solo arenoso e pode ser considerado um parâmetro característico destes líquidos.

### 6.36. Sólidos Totais

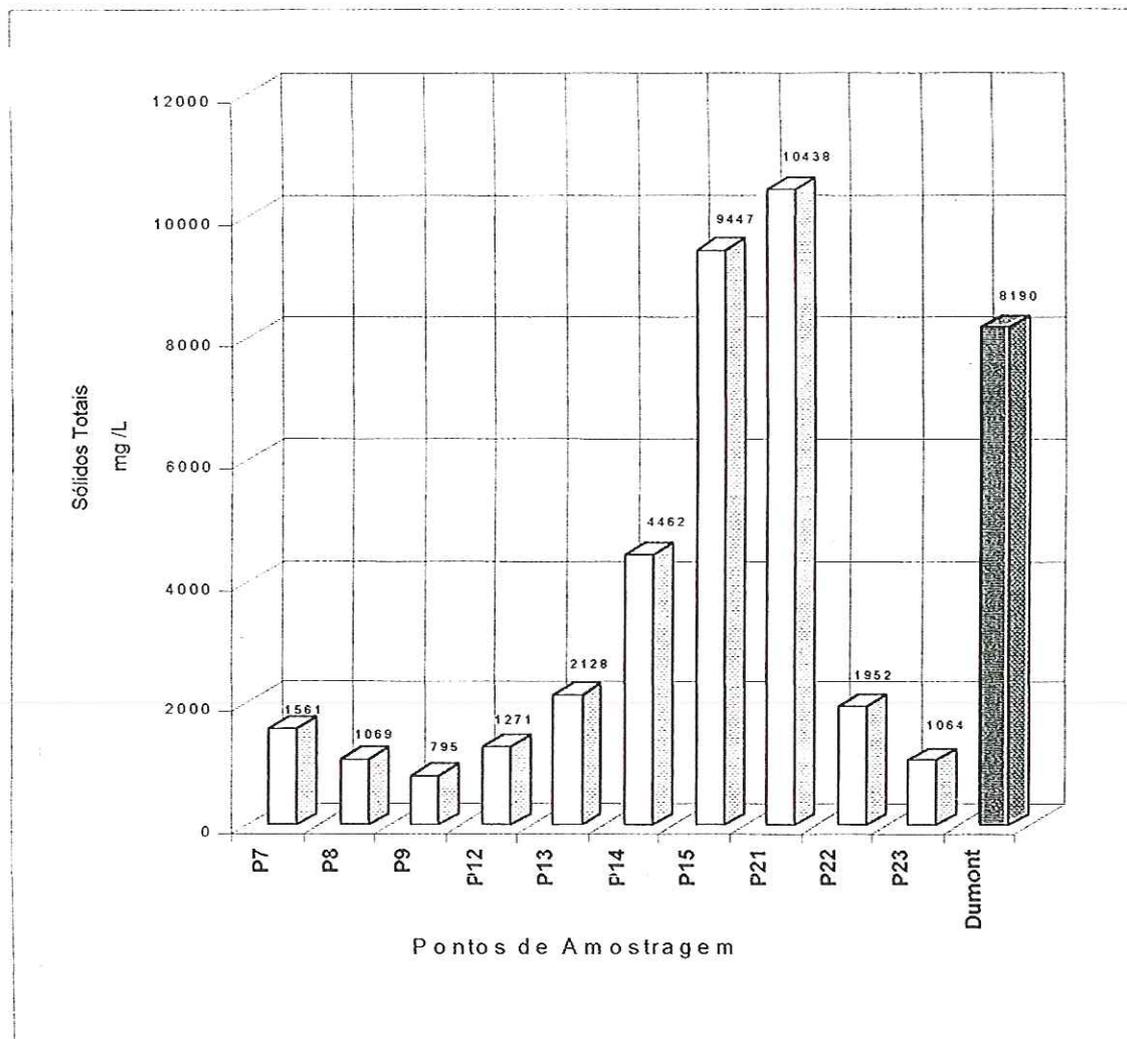


FIGURA 48: Resultados obtidos de sólidos totais

Os valores obtidos de concentração de sólidos totais, nas duas cavas do lixão de Serrana, apresentaram-se com diluição, conforme mostra a Figura 12.

No aterro de Dumont, o valor obtido apresentou-se elevado e entre os valores dos poços P15 e P21, localizados sobre um solo pouco permeável.

Tal fato mostra que a recirculação e o sistema de engenharia do aterro de Dumont proporciona a concentração de sólidos totais. Estes sólidos apresentaram-se com permeabilidade em solo arenoso e esse pode ser considerado um parâmetro característico destes líquidos.

### 6.37. Sólidos Totais Fixos

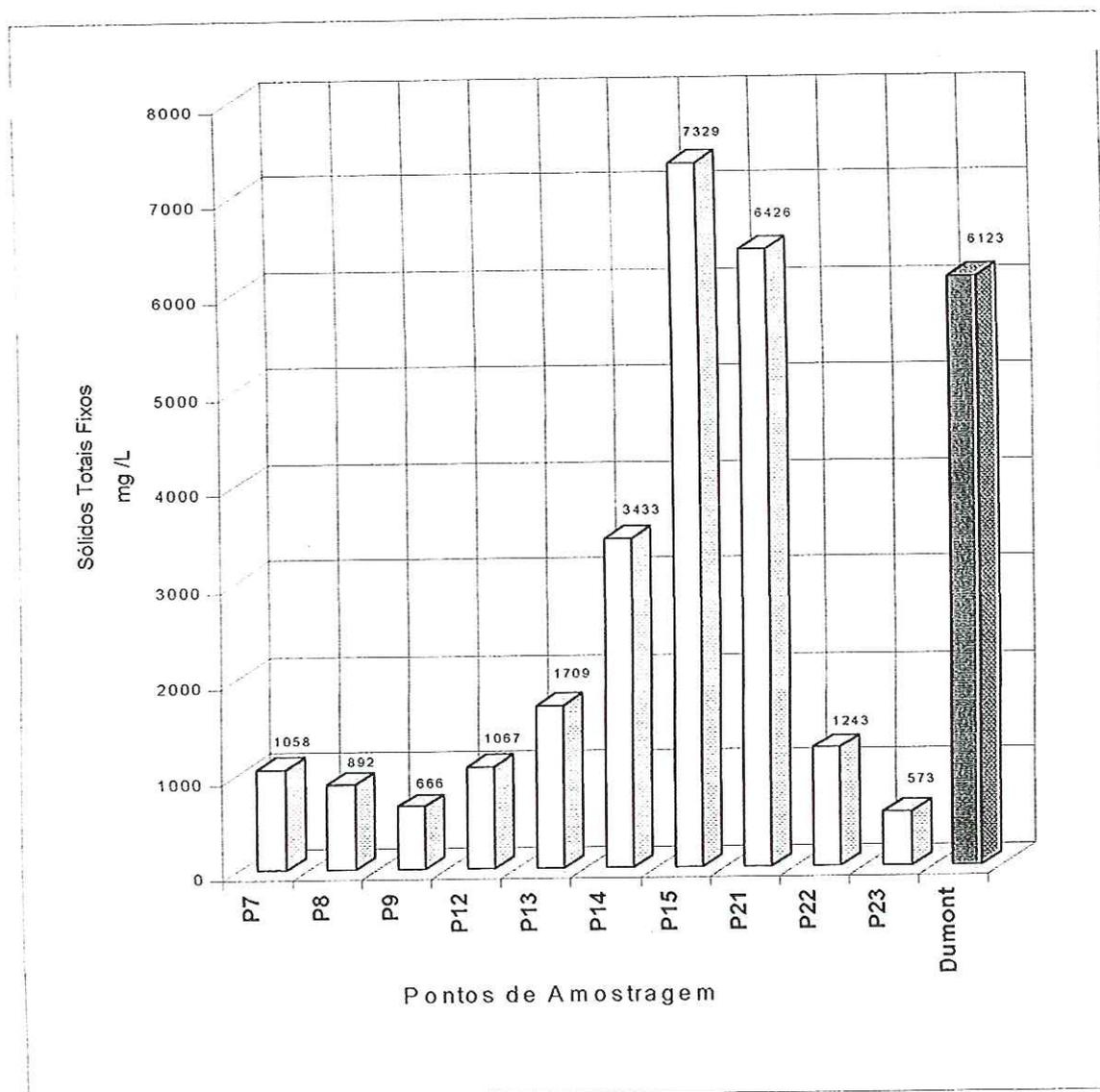


FIGURA 49: Resultados obtidos de sólidos totais fixos

Os valores obtidos de concentração de sólidos totais fixos, nas duas cavas do lixão de Serrana, apresentaram-se com diluição, conforme mostra a Figura 12.

No aterro de Dumont, o valor obtido apresentou-se elevado e entre os valores dos poços P15 e P21, localizados sobre um solo pouco permeável.

Tal fato mostra comportamento semelhante ao de sólidos totais, onde a recirculação e o sistema de engenharia do aterro de Dumont proporciona a concentração de sólidos totais fixos, que apresentaram-se com permeabilidade em solo arenoso e esse pode ser considerado um parâmetro característico destes líquidos.

### 6.38. Sólidos voláteis totais

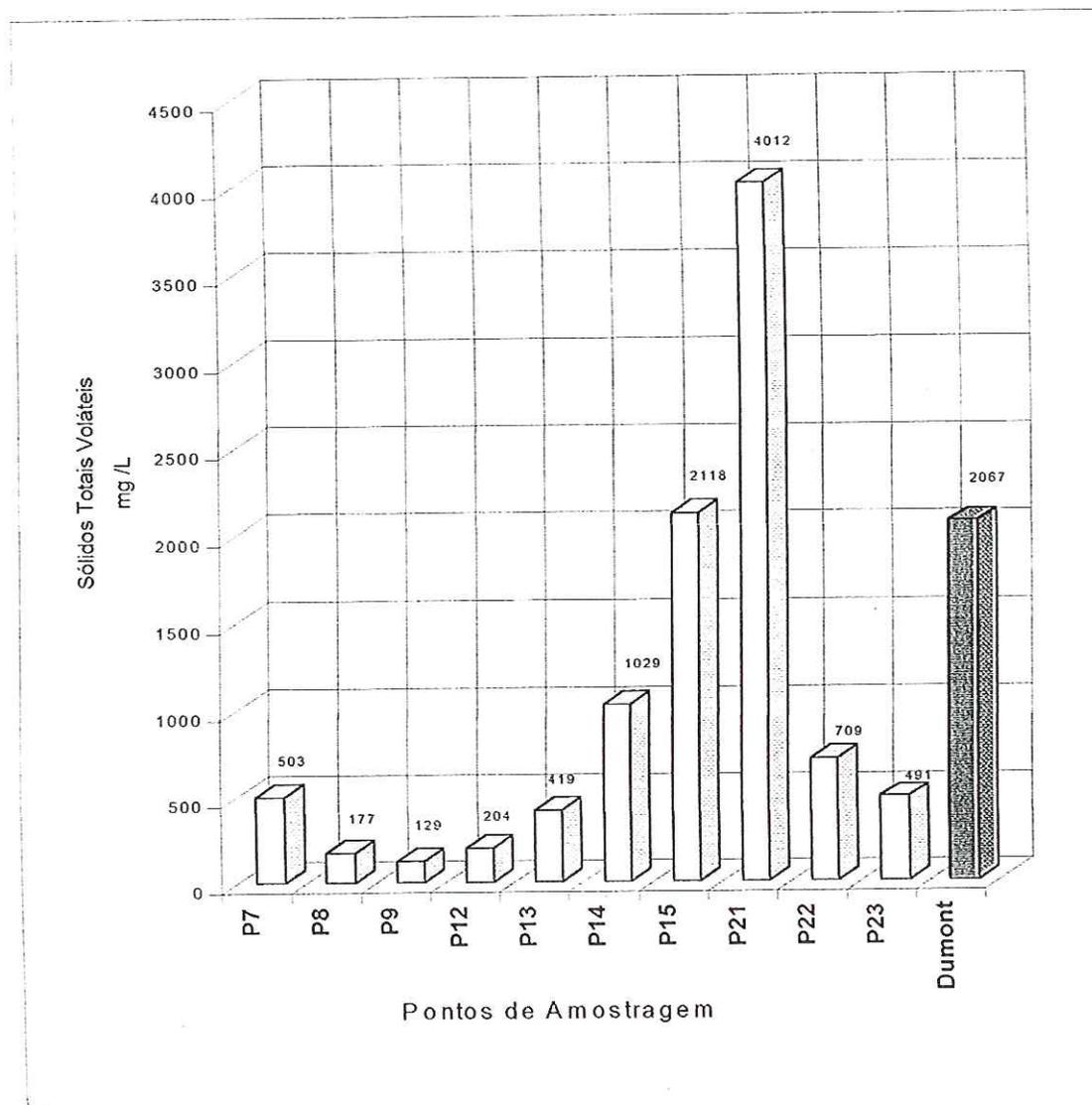


FIGURA 50: Resultados obtidos de sólidos totais voláteis

Os valores obtidos de concentração de sólidos voláteis totais dos poços do lixão de Serrana apresentaram um comportamento de diluição conforme representado pela Figura 12.

No Aterro de Dumont, os valores apresentaram-se elevados, podendo considerar-se que o sistema de engenharia e recirculação de chorume propicia a concentração destes líquidos. O parâmetro pode ser considerado característico para monitoramento de águas subterrâneas de aterro sanitário pela sua grande mobilidade em solo.

### 6.39. Sólidos sedimentáveis

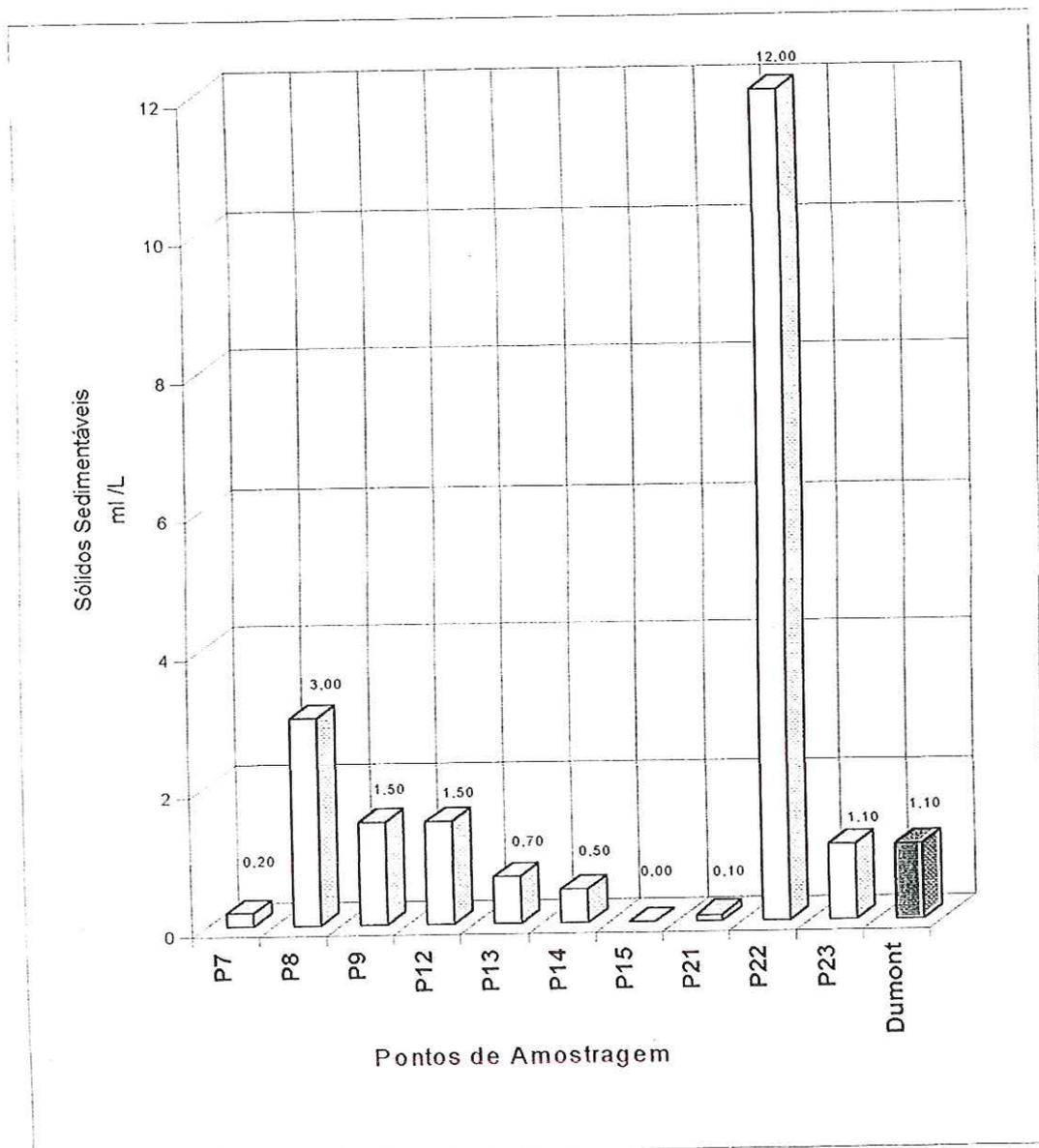


FIGURA 51: Resultados obtidos de sólidos sedimentáveis

Os valores obtidos de sólidos sedimentáveis nos poços do lixão de Serrana apresentaram-se variados, sendo o Poço 22, localizado na cava menor, com valor elevado. Tal fato pode ser devido à recente perfuração destes poços.

No aterro de Dumont, o valor obtido apresentou-se baixo, podendo ser considerado que o processo de recirculação e aterramento do sistema funcione como filtro e retenha estes sólidos.

## 6.40. Substâncias solúveis em hexano

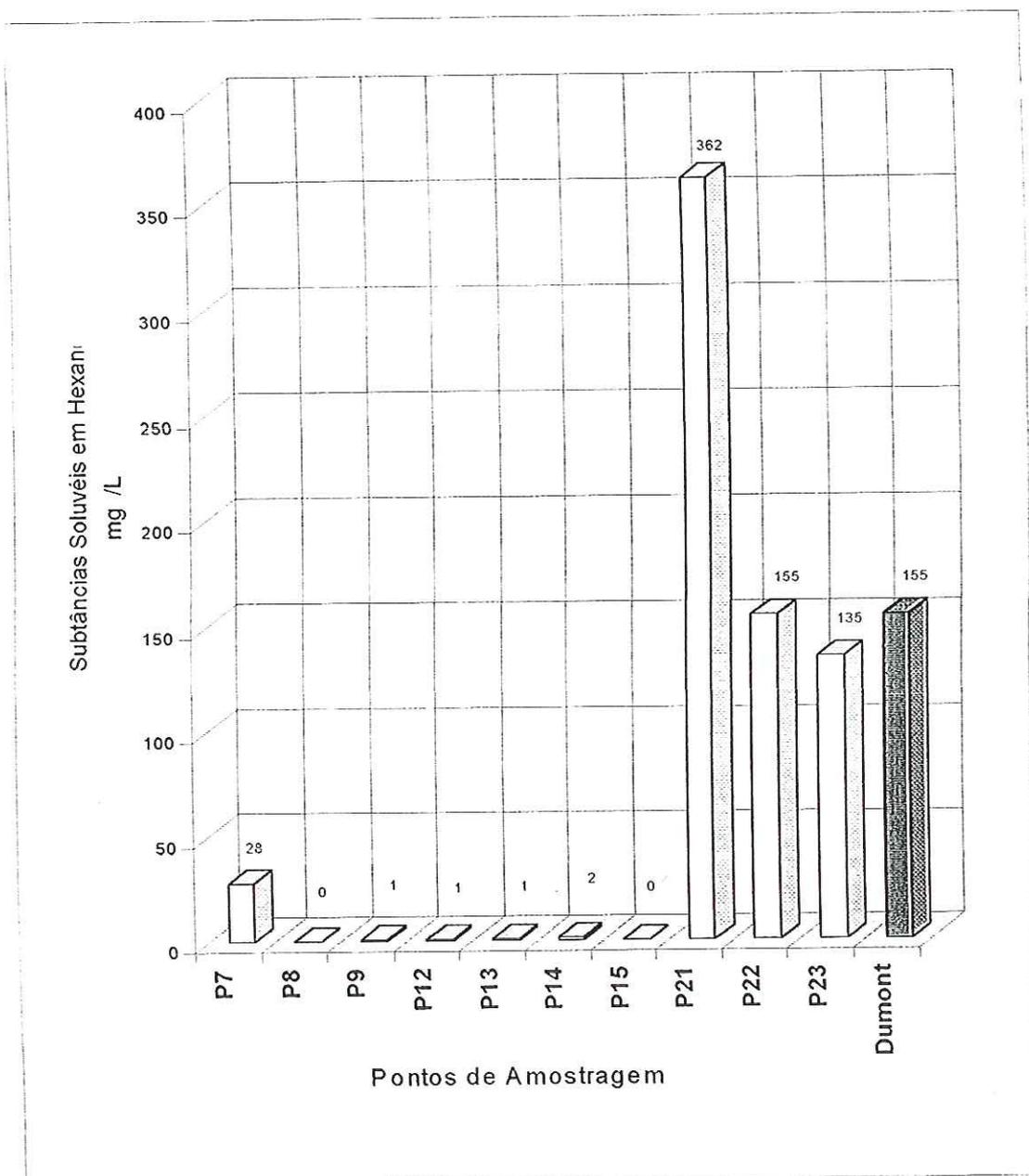


FIGURA 52: Resultados obtidos de substâncias solúveis em hexano

Os valores obtidos de substâncias solúveis de hexano, nos poços da cava maior, apresentaram-se baixos e próximos ao limite de detecção do método. Na cava menor os valores apresentaram-se elevados, fato que pode ser devido à recente perfuração destes poços. Os valor obtido do aterro de Dumont apresentou-se próximo, se comparado aos valores dos poços da cava menor do lixão de Serrana.

## 6.41. Sulfato

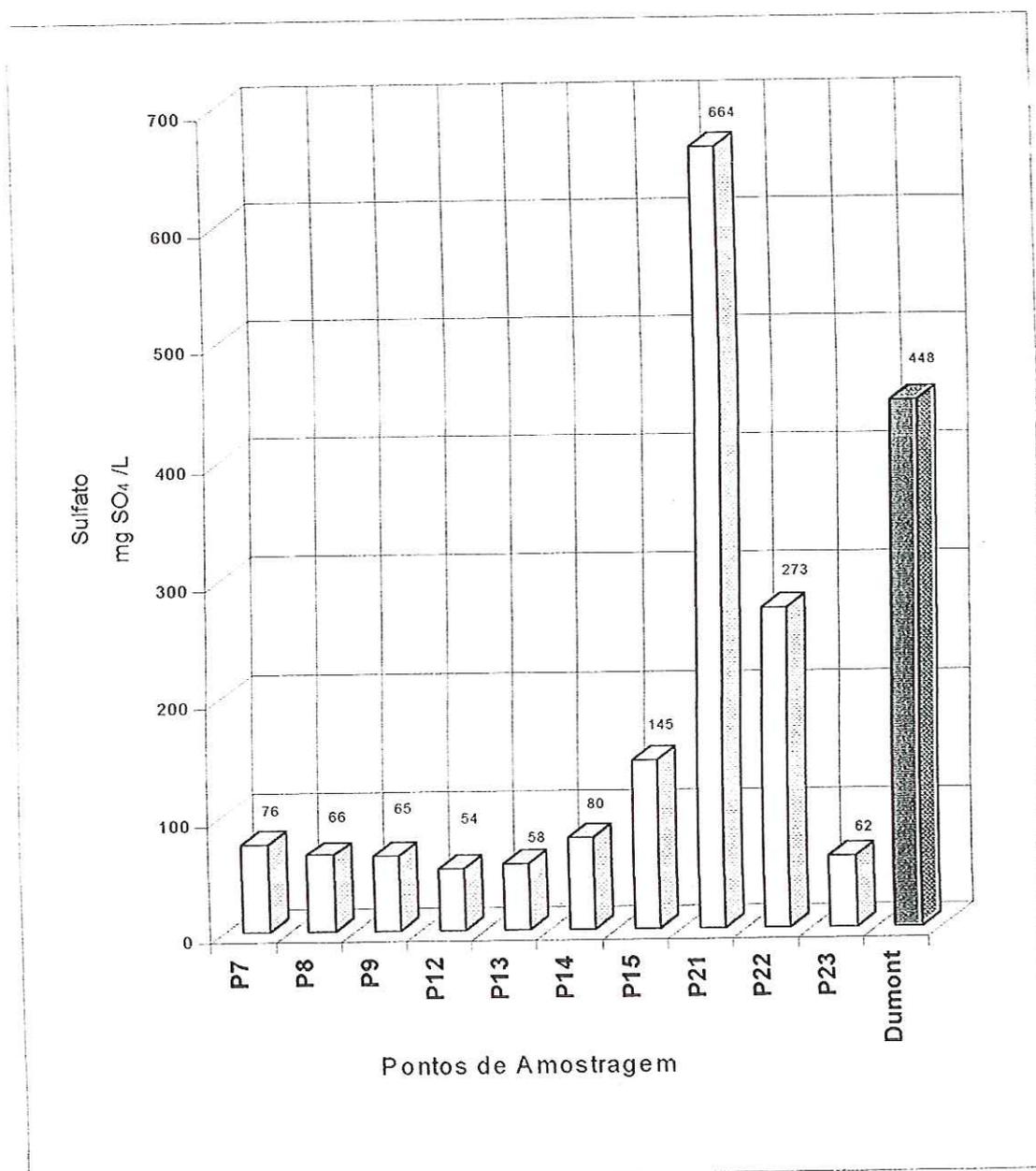


FIGURA 53: Resultados obtidos de sulfato

Os valores obtidos de sulfato nos poços do lixão de Serrana apresentaram um comportamento de diluição, decrescendo das extremidades para o centro, conforme Figura 12, sendo os valores da cava menor de concentração mais elevada.

No aterro de Dumont, o valor de sulfato apresentou-se entre os maiores valores obtidos da cava menor do lixão de Serrana. Podemos considerar que o íon sulfato é facilmente percolado e que o sistema operacional de aterro sanitário dotado de recirculação destes líquidos proporciona a sua concentração.

## 6.42. Sulfito

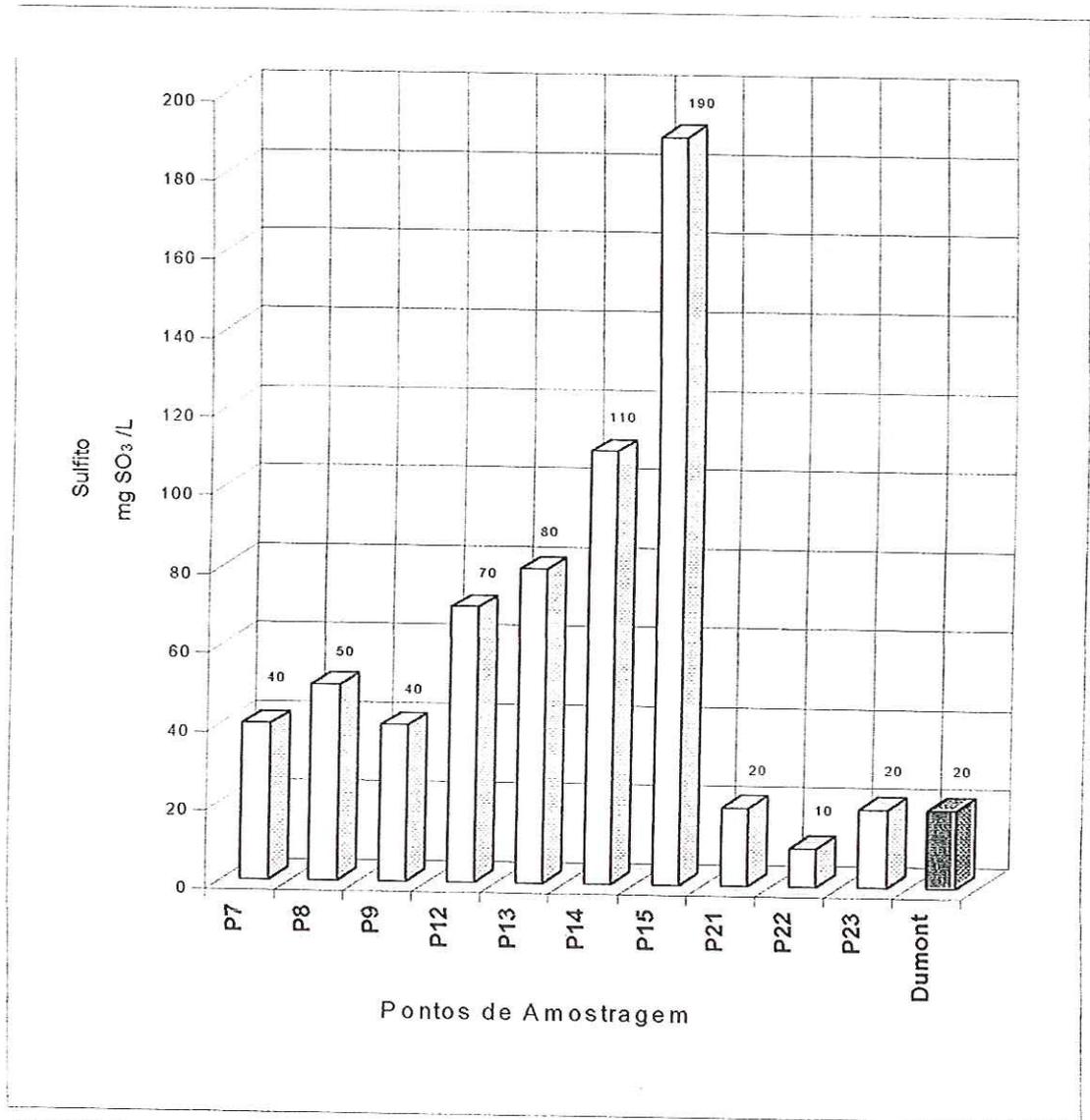


FIGURA 54: Resultados obtidos de sulfito

Os valores obtidos de sulfito nos poços da cava maior do lixão de Serrana apresentaram-se entre 40 e 200 mg/L. Nos poços da cava menor, os valores obtidos foram de 20 a 10 mg/L. No aterro de Dumont o valor obtido foi igual aos valores dos poços P21 e P22.

O parâmetro não se comportou com a diluição esperada e também não apresentou-se com elevada concentração no aterro de Dumont. Considerando este comportamento, este parâmetro não deve ser adotado para estudos e monitoramento destes líquidos gerados em aterros sanitários.

## 6.43. Surfactantes aniônicos

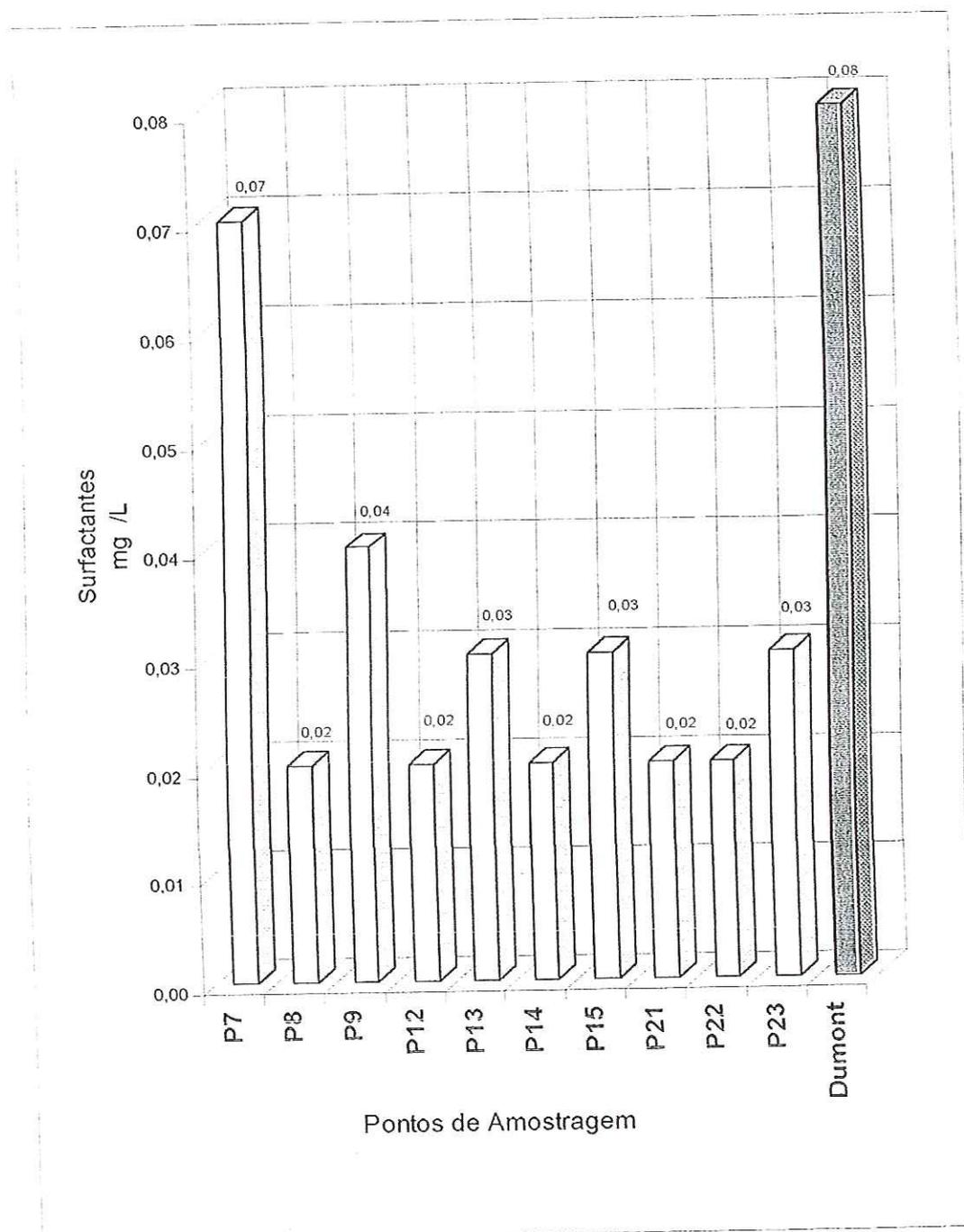


FIGURA 55: Resultados obtidos de surfactantes aniônicos

Os valores obtidos de surfactates aniônicos nos líquidos estudados apresentaram-se próximos ao limite de detecção do método. Pode se considerar que o parâmetro não é característico nestes líquidos.

## 6.44. Turbidez

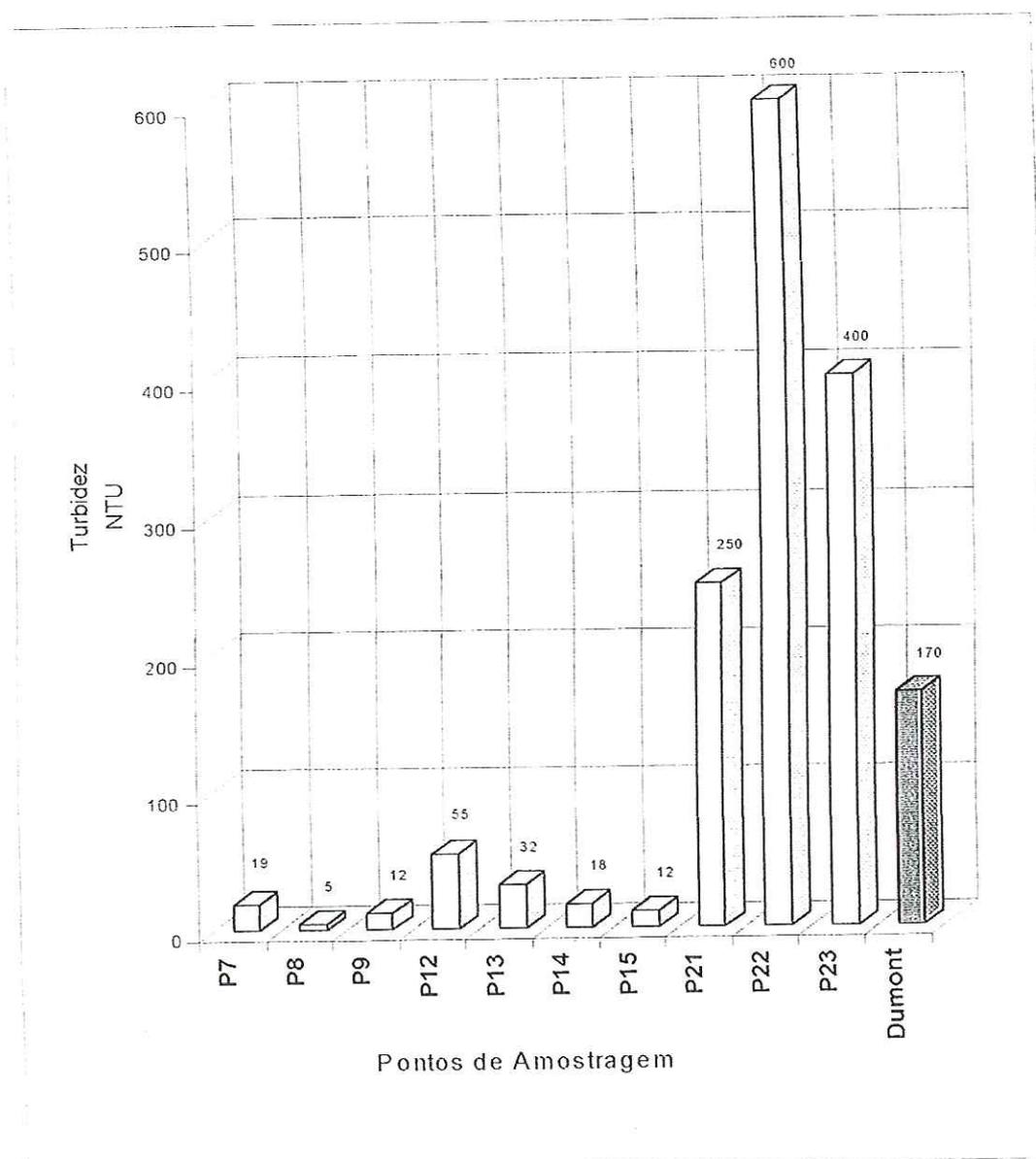


FIGURA 56: Resultados obtidos de turbidez

Os valores obtidos de turbidez, nos poços da cava maior do lixão de Serrana, apresentaram-se mais baixos se comparados aos valores obtidos nos poços da cava menor. Tal fato pode ser justificado pela perfuração recente dos poços da cava menor, o que pode ocasionar turbidez nos líquidos drenados para o interior do poço tubular.

No aterro de Dumont, o valor obtido apresentou-se numa faixa intermediária.

Este parâmetro não deve ser considerado característico. A elevada cor e os altos valores de teor de sólidos fazem com que as amostras tenham que passar por diluições que podem diminuir a precisão das leituras nefelométricas.

## 6.45. Zinco

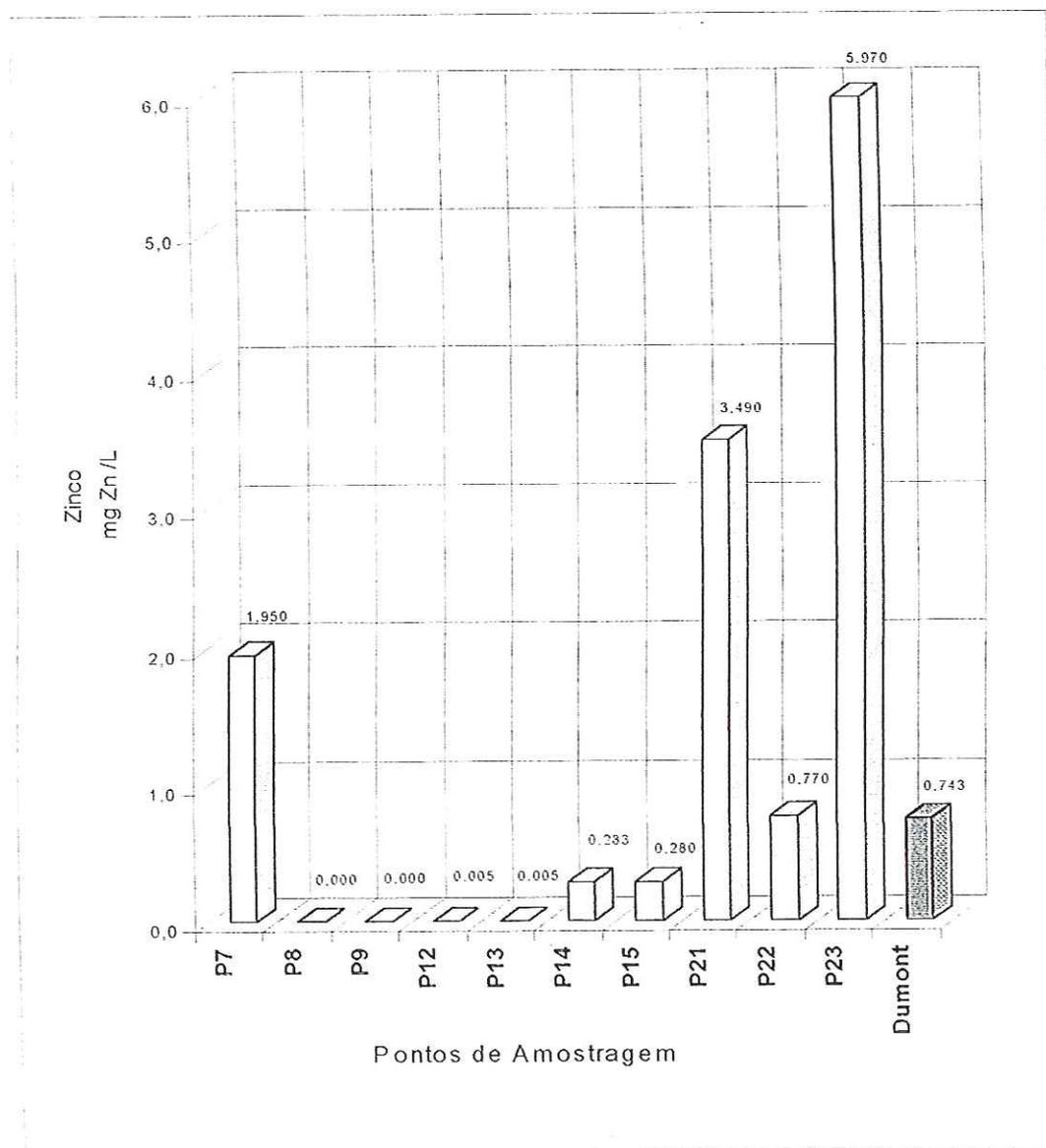


FIGURA 57: Resultados obtidos de zinco

Os valores obtidos de zinco, nos poços da cava maior do lixão de Serrana, apresentaram-se baixos e próximos ao limite de detecção do método, exceto no poço P7, que apresentou um valor elevado, o que pode ser justificado pela disposição de lixo industrial naquela cava. Na cava menor, os valores são elevados se comparados aos demais, porém, pode se atribuir o fato à disposição de lixo hospitalar e à perfuração recente.

No aterro de Dumont, o valor obtido apresentou-se abaixo de 1 mg/L. Pode se considerar que este tipo de íon metálico não é característico para estudos e monitoramento de águas subterrâneas.

## 7. CONCLUSÕES

Através dos 45 parâmetros analíticos empregados neste estudo, pode-se concluir que os líquidos percolados ou chorume gerados pelo aterramento de resíduo urbano possuem constituintes característicos que apresentaram-se em concentrações elevadas. Estes constituintes químicos podem ser avaliados através de suas concentrações, sendo os mais representativos:

- Potenciométricos: condutividade ( de 1,29 a 15,2 mili mho/cm);
- Exames Físicos: cor aparente ( de 133 a 4480 unid. PtCo), sólidos totais (de 795 a 10438 mg/l);
- Constituintes inorgânicos não metálicos: alcalinidade de bicarbonato (870 a 9367 mg/l), boro ( 0,007 a 1,57 mg/l), cálcio (37 a 340 mg/l), cloretos (200 a 3350 mg/l), dureza total ( 195 a 735 mg/l), fósforo total (1,17 a 13,4 mg/l), magnésio (19 a 128 mg/l), nitrato ( 6,8 a 169 mg/l), nitrogênio amoniacal (3,3 a 160 mg/l), nitrogênio total de Kjeldahl (28 a 1825 mg/l), potássio (68 a 1435 mg/l), sódio (51 a 1377 mg/l), sulfito (10 a 190 mg/l);
- Constituintes orgânicos: carbono orgânico total (3 a 772 mg/l), DBO (33 a 940 mg/l), DQO (91 a 5200 mg/l), oxigênio consumido (26 a 578 mg/l);
- Metais: cobalto (0,006 a 2,106 mg/l), cromo total (0,025 a 1,824 mg/l), ferro (4,291 a 125,3 mg/l), manganês (0,122 a 1,375 mg/l), níquel (0,030 a 2,681 mg/l), zinco (0,001 a 5,970 mg/l).

Conforme pode ser verificado pelos histogramas, os valores de concentração de líquidos percolados do lixão de Serrana, comparados aos valores obtidos no chorume do aterro de Dumont, variam de forma considerável.

No lixão de Serrana, pode-se verificar esta variação em poços de até 100 metros de distância. A maioria dos valores de concentração dos diversos constituintes químicos analisados apresentaram-se menores nos poços localizados em solo arenoso (parte central do terreno) e com valores maiores nos poços localizados em solo cenozóico (nas extremidades do terreno).

Pode-se concluir que os valores são menores porque a contribuição das águas pluviais sobre solo arenoso diluem e arrastam ou percolam o chorume para o fundo do solo, podendo até atingir o lençol freático se o local for uma zona de recarga.

Os parâmetros que apresentaram resultados analíticos com este comportamento de diluição nos poços do lixão de Serrana foram: alcalinidade de bicarbonato, boro, carbono orgânico total, chumbo, cianeto, cloretos, cobalto, cobre, condutividade, cor aparente, cromo total, DBO, DQO, fenóis, fluoretos, fósforo total, magnésio, níquel, nitrogênio albuminoide, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total de Kjeldahl, nitrato, nitrito, nitrogênio total, oxigênio consumido, pH, potássio, sódio, sólidos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis, substâncias solúveis em hexano, sulfato, sulfito, turbidez.

Os parâmetros alumínio, ferro, manganês e zinco evidenciaram este comportamento de forma parcial, podendo-se atribuir tal fato à ação de catadores de sucata e disposição de lixo industrial e hospitalar no lixão de Serrana.

Os parâmetros de cálcio, dureza total, densidade e surfactantes aniônicos não atenderam ao comportamento de diluição, podendo concluir que o íon cálcio, também relacionado a dureza, possui pouca mobilidade de percolação. Os métodos utilizados para as determinações dos parâmetros de densidade e surfactantes não apresentaram precisão para que este processo pudesse ser evidenciado.

O parâmetro de sólidos sedimentáveis apresentou um comportamento oposto, sendo os poços P7, P15 e P21 localizados em solo pouco permeável (bazáltico e cenozóico) com valores baixos, o que pode ser devido ao processo de filtração natural mais eficiente neste tipo de solo.

No aterro de Dumont, onde o processo de aterramento é dotado de sistema de engenharia e recirculação de chorume, os parâmetros apresentaram-se próximos aos valores dos poços do lixão de Serrana localizados em solo pouco permeável (P7, P15

e P21). Estes parâmetros foram: alcalinidade de bicarbonato, cálcio, cianeto, cloretos, cobalto, cobre, condutividade, cor aparente, cromo total, cromo hexavalente, DBO, densidade, DBO, fluoretos, fósforo total, manganês, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito, potássio, sódio, sólidos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis, substâncias solúveis em hexano, sulfato e turbidez.

No chorume do aterro de Dumont os parâmetros que apresentaram-se mais concentrados que os líquidos percolados do lixão de Serrana foram: boro, carbono orgânico total, dureza total, magnésio, nitrogênio albuminoide, nitrogênio total de Kjeldahl, oxigênio consumido, pH e surfactantes.

Os parâmetros que apresentaram-se com baixas concentrações, comparados aos valores dos poços do lixão de Serrana, foram: alumínio, chumbo, fenóis, ferro, níquel, sólidos sedimentáveis, sulfito e zinco. Conclui-se que o sistema de engenharia associado à recirculação destes líquidos num aterro sanitário, juntamente com a ausência de lixo industrial e hospitalar, propicia a ausência destes constituintes.

## 8. RECOMENDAÇÕES

Para se efetuar um monitoramento de água subterrânea com a finalidade de avaliar e controlar a existência de contaminação destas águas por líquidos percolados, em aterros sanitários ou lixões em funcionamento ou desativados, recomenda-se que sejam realizadas regularmente análises físico-químicas dos parâmetros que apresentaram-se com mobilidade de percolação, sendo eles: alcalinidade de bicarbonato, boro, carbono orgânico total, cloretos, cobalto, cobre, condutividade, cor aparente, cromo total, dureza total, ferro, fluoretos, fósforo total, magnésio, manganês, nitrogênio amoniacal, nitrogênio albuminoide, nitrato, nitrito, oxigênio consumido, potássio, sódio, sulfato, sulfito, turbidez e zinco.

Recomenda-se ainda que, em trabalhos analíticos de caracterização de chorume, os parâmetros que devem ser investigados são: alcalinidade de bicarbonato, boro, carbono orgânico total, chumbo, cianeto, cloretos, cobalto, cobre, condutividade, cromo total, DQO, DBO, fluoretos, fósforo total, magnésio, manganês, níquel, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total de Kjeldahl, nitrato, nitrito, oxigênio consumido, potássio, sódio, sólidos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis, sulfato e sulfito.

Recomenda-se, também, que sejam efetuados outros trabalhos de caracterização em líquidos percolados, visando a identificação de compostos organoclorados e organofosforados, para assegurar a qualidade das águas subterrâneas em relação a possíveis contaminações, visto que estes líquidos percolam facilmente, mesmo tendo-se um aterro sanitário dotado de sistemas eficientes de engenharia.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, E. C. (1988). *Estudo de impacto ambiental e relatório de impacto ambiental do aterro sanitário e incinerador*. vol I . Secretária Municipal do Meio Ambiente. Ribeirão Preto, SP.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIROMENT FEDERATION.(1985) *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater*.15 edition. Washington, USA.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIROMENT FEDERATION.(1989) *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater*.17 edition. Washington, USA.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIROMENT FEDERATION.(1995) *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater*.19 edition. Washington, USA.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.(1985). *Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos*: NBR-8849/85. São Paulo, SP.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS .(1984). *Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos*: NBR -8419/84. São Paulo, SP.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.(1989). *Degradação do Solo*; terminologia: NBR-10703/89 . São Paulo, SP.

◀ BALDOCHI, V.M.Z.(1990). *Comportamento dos ácidos voláteis no processo de estabilização anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário*. Dissertação de Mestrado em Hidráulica e Saneamento. EESC-USP. São Carlos, SP.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. (1979) *Manual de instruções básicas para a execução de aterro sanitário*. São Paulo, SP. Anexo 3.

FERREIRA, J.C.; COSTA, J.A.(1998). *Ribeirão Preto Dumpsite: Environmental Problems and Solutions*, CENPES-CEGEQ Petrobras - Rio de Janeiro, RJ.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTADÍSTICA.(1992). *Pesquisa nacional de saneamento básico, PNSB*, 1989. 70p. São Paulo, SP.

◀ FUZZARRO, J.(1994). *Disposição de Resíduo Sólido em Aterro Sanitário*. 6º Evento do programa de Atualização em Tecnologia de Interesse Ambiental, São Paulo, SP.

◀ GRIFFIN et alii .(1976). *Attenuation of pollutants in municipal land fill leachate by clay mineral*. nº 78, 34 p .Illinois State Geol. Survey, USA

HACH Company, (1995). *Manual do Spectrophotometer Handbook DR2000*, Colorado, USA.

JARDIM, S.N. et al..(1995). *Manual de Gerenciamento Integrado / Lixo Municipal*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo IPT- São Paulo, SP.

Jornal A CIDADE. Edição de 27/03/1986 e 26/01/1989. Ribeirão Preto, SP.

Jornal TARDE. Edição de 29/07/1990. Ribeirão Preto, SP.

KAJUARA.O; SANCHEZ.J.C.D.; BALLESTRIN,R.A.; TEIXEIRA,E.C.(1997). *Environmental Monitoring of the North Porto Alegre landfill*, Brazil -Water Environmental Research, volume 69, nº.6, Porto Alegre, RS.

LIMA,L. M. Q.(1988). *Recuperação de Biogás em Aterros Sanitários*. Seminário de Energia de Biomassa e Resíduos. Belo Horizonte, MG.

NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLF LUTZ.(1985). *Métodos químicos e físicos para análises de alimentos*. Vol.1. 3ª edição. São Paulo, SP.

PEJON,O.; ZUQUETTE,L.V.(1991). *Importância dos estudos geológicos - geotécnicos para a disposição de rejeitos urbanos*. Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Rejeitos Urbanos- REGEO-91. P367 – 377.Rio de Janeiro, RJ.

ROSELLI, M.L.(1995). *Projeto de estudos dos impactos ambientais do lixão ao meio físico e medidas mitigadoras*- Relatório Técnico Fase 1 – Ribeirão Preto, SP.

SCHALCH,V.(1992). *Análise comparativa do comportamento de dois aterros sanitários semelhantes e correlações dos parâmetros do processo de digestão anaeróbia*. Tese de doutorado do Departamento de Hidráulica e Saneamento EESC-USP, São Carlos, SP.

SILVA, MANOEL O. A (1977). *Análises físico-químicas para controle das estações de tratamento de esgotos*. CETESB São Paulo, SP.

SOUZA,H. B.; DERISIO,J.C.(1977). *Guia Técnico de Coleta de Amostras de Água*. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental- CETESB- São Paulo, SP.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola de Engenharia de São Carlos. Serviço de Biblioteca (1996), 2ª edição. *Diretrizes para elaboração de dissertações e teses na EESC-USP*. São Carlos, SP.

VOGEL, A I.(1992). *Análise Química Quantitativa* . Editora Guanabara, Koogan S/A – Rio de Janeiro, RJ.

ZUQUETTE, L. V. et al. (1993). *Carta do potencial de risco à contaminação das águas subterrâneas e do potencial agrícola, região de Ribeirão Preto, SP., Brasil*. Geociências, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 531-540.

ZUQUETTE, L. V.(1978). *Mapeamento geotécnico aplicável a rejeitos sépticos*. 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, vol 2, p. p313 – 321, São Paulo, SP.